



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y SELECCIÓN DE TUBERÍA DE
PRESIÓN CON VÁLVULAS DE CONTROL
PARA LA OBRA DE TOMA DE UNA PRESA
DE ALMACENAMIENTO**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Alfonso de Jesús Vilchis Fuentes

ASESOR DE INFORME

Dr. Adrián Espinosa Bautista



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

ÍNDICE

PÁGINA

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA _____ **1**

- 1.1 Historia de la Comisión Nacional del Agua
- 1.2 Misión y visión de la CONAGUA
- 1.3 Objetivos de la CONAGUA
- 1.4 Organización operativa
- 1.5 Organigrama

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL PUESTO DE TRABAJO _____ **4**

- 2.1 Misión del puesto
- 2.2 Objetivo del puesto
- 2.3 Funciones del puesto

CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DE LA PARTICIPACIÓN DEL ALUMNO EN LA EMPRESA _____ **6**

DISEÑO Y SELECCIÓN DE TUBERÍA CON VÁLVULAS DE CONTROL PARA LA OBRA DE TOMA DE UNA PRESA DE ALMACENAMIENTO.

- 3.1 Antecedentes
- 3.2 Descripción del proyecto
- 3.3 Problema a solucionar
- 3.4 Concepción general del sistema de control
- 3.5 Diseño geométrico de la obra de toma
 - 3.5.1 Determinación del diámetro preliminar de las tuberías
 - 3.5.2 Descripción del arreglo general
 - 3.5.3 Dimensiones generales de la obra de toma
 - 3.5.4 Análisis hidráulico
 - 3.5.5 Selección de diámetros de tuberías de rodeo By-Pass
 - 3.5.6 Selección de diámetros de válvulas de admisión y expulsión de aire
- 3.6 Diseño mecánico de las tuberías que conforman la obra de toma
 - 3.6.1 Consideraciones de diseño
 - 3.6.2 Presión interna de la tubería
 - 3.6.3 Calculo del espesor
 - 3.6.4 Calculo de esfuerzos combinados en la tubería
 - 3.6.5 Diseño de la bifurcación reductora de diámetros
 - 3.6.5.1 Consideraciones de diseño
 - 3.6.5.2 Calculo de espesores
 - 3.6.5.3 Geometría para la fabricación de la bifurcación y codos reductores
- 3.7 Interpretación de resultados

CONCLUSIONES _____ **70**

BIBLIOGRAFÍA _____ **72**

ANEXOS _____ **74**

INTRODUCCIÓN

En México existen alrededor de 5000 presas y bordos, algunas de las cuales están clasificadas como grandes presas (667), de acuerdo con la definición de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD, por sus siglas en inglés).

La capacidad de almacenamiento de las presas del país es aproximadamente 150 mil millones de metros cúbicos. Son 181 presas principales las que representan el 80% de la capacidad total de almacenamiento del país (Fuente: Atlas digital del agua México 2015, CONAGUA).

El almacenamiento de las presas puede ser destinado para uso de abastecimiento público, irrigación, generación de energía eléctrica o control de avenidas, pudiendo tener en cada presa más de uno de los mencionados; dependiendo del uso y el tipo de presa se proyecta una obra de toma, cuyo objetivo es extraer el agua almacenada en forma controlada y poder utilizarla para el fin que fue proyectado su aprovechamiento.

Las obras de toma están constituidas con uno o más conductos, por medio de los cuales transita el agua en forma controlada desde aguas arriba de la presa hacia donde se requiera, generalmente los conductos pueden ser de dos tipos, tubería de acero trabajando a presión o túneles.

El presente documento es un informe de trabajo profesional que se llevó a cabo durante mi estancia laboral en la Comisión Nacional del Agua, cuyo objetivo es realizar el diseño y selección de la tubería de presión con elementos de control para la obra de toma de una presa de almacenamiento. El propósito del aprovechamiento es el riego agrícola.

El trabajo lo realicé tomando datos de partida generados por los estudios básicos del proyecto y los resultados del diseño de la obra civil de la presa de almacenamiento, la normatividad utilizada es indicada por los "Términos de referencia para la elaboración del proyecto electromecánico de presas de almacenamiento", que la Gerencia de Proyectos de Infraestructura Hidroagrícola establece.

CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

1.1 HISTORIA DE LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA)

La Comisión Nacional del Agua es heredera de una gran tradición hidráulica y a lo largo de su historia ha estado integrada por destacados profesionales y especialistas de diversas disciplinas, reconocidos internacionalmente por su dedicación y capacidad técnica.

Dentro de las instituciones que le antecedieron destacan la Dirección de Aguas, Tierras y Colonización creada en 1917; la Comisión Nacional de Irrigación, en 1926; la Secretaría de Recursos Hidráulicos en 1946 y la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en 1976 y finalmente desde 1989 a la fecha, la Comisión Nacional del Agua.

1.2 MISIÓN Y VISIÓN DE LA CONAGUA

Misión: "Preservar las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes para su administración sustentable y garantizar la seguridad hídrica con la corresponsabilidad de los tres órdenes de gobierno y la sociedad en general".

Visión: "Ser una institución de excelencia en la preservación, administración de las aguas nacionales y la seguridad hídrica de la población".

1.3 OBJETIVOS DE LA CONAGUA

- Promover el manejo integrado y sustentable del agua en cuencas y acuíferos.
- Mejorar el desarrollo técnico, administrativo y financiero del sector hidráulico.
- Consolidar la participación de los usuarios y la sociedad organizada en el manejo del agua y promover la cultura de su buen uso.
- Prevenir los riesgos derivados de fenómenos hidrometeorológicos y atender sus efectos.
- Evaluar los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico.
- Crear una cultura contributiva y de cumplimiento a la ley de aguas nacionales en materia administrativa.

1.4 ORGANIZACIÓN OPERATIVA

Para cumplir con su propósito esencial, la Comisión se divide operativamente en tres grandes áreas:

1. Oficinas Centrales.
2. Organismos de Cuenca.
3. Direcciones Locales.

La sede de Oficinas Centrales está en la Ciudad de México y dentro de sus acciones principales se encuentran: apoyar a los Organismos de Cuenca y Direcciones Locales en la realización de las acciones necesarias para lograr el uso sustentable del agua en cada región del país, establecer la política y estrategias hidráulicas nacionales, integrar el presupuesto de la institución y vigilar su aplicación, concertar con los organismos financieros nacionales e internacionales los créditos que requiere el Sector Hidráulico, establecer los programas para apoyar a los municipios en el suministro de los servicios de agua potable y saneamiento en las ciudades y comunidades rurales y para promover el uso eficiente del agua en el riego y la industria.

En las Oficinas Centrales se establece la política de recaudación y fiscalización en materia de derechos de agua y permisos de descargas, coordina las modificaciones que se requieran a la Ley de Aguas Nacionales y apoya su aplicación en el país, elabora las normas en materia hidráulica, opera el servicio meteorológico nacional, mantiene una sólida y fructífera relación con el H. Congreso de la Unión, atiende a los medios de comunicación nacionales y se vincula con las dependencias federales para trabajar en forma conjunta en acciones que beneficien al Sector Hidráulico.

Los Organismos de Cuenca son los responsables de administrar y preservar las aguas nacionales en cada una de las trece regiones hidrológico-administrativas en que se ha dividido el país.

El desempeño de los Organismos de Cuenca es también muy importante, ya que tienen a su cargo aplicar la razón misma de ser de la institución en cada región del país. Para ello, realizan las siguientes tareas básicas:

1. Determinar la disponibilidad del agua.
2. Orientar los nuevos polos de desarrollo.

3. Lograr el uso sustentable del agua.
4. Asegurar la preservación de los acuíferos.
5. Garantizar la calidad del agua superficial.
6. Llevar a cabo la recaudación en materia de aguas nacionales y sus bienes.
7. Solucionar conflictos relacionados con el agua.
8. Otorgar concesiones, asignaciones y permisos.
9. Promover la cultura del buen uso y preservación del agua.
10. Prevenir los riesgos y atender los daños por inundaciones.
11. Prevenir los riesgos y atender los efectos por condiciones severas de escasez de agua.
12. Operar la infraestructura estratégica.

Además, los Organismos de Cuenca son el vínculo con los Gobernadores de las entidades donde se ubican.

Por lo que se refiere a las Direcciones Locales, éstas tienen la importante labor de aplicar las políticas, estrategias, programas y acciones de la Comisión en las entidades federativas que les corresponden.

Fuente: *HISTORIA CONAGUA*, (11 de noviembre de 2014). Recuperado el 23 de febrero de 2016, de <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=1&n2=1>

1.5 ORGANIGRAMA



CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL PUESTO DE TRABAJO

2.1 MISIÓN DEL PUESTO

Disponer de los proyectos de obras mecánicas para el desarrollo de proyectos ejecutivos de obras de infraestructura con el fin de fomentar la seguridad de las presas, plantas de bombeo e infraestructura hidroagrícola.

2.2 OBJETIVO DEL PUESTO

Supervisar la formulación de proyectos de obras mecánicas mediante la aplicación de los análisis estáticos y dinámicos orientados al diseño, considerando los criterios de diseño y resistencia de materiales que garanticen la seguridad y eficiencia de las presas, plantas de bombeo e infraestructura hidroagrícola.

2.3 FUNCIONES

- Supervisar y asesorar la ejecución de proyectos ejecutivos mecánicos para la construcción, rehabilitación y modernización de obras de infraestructura hidroagrícola, en presas de almacenamiento, presas derivadoras, estructuras de control y plantas de bombeo, así como elaborar y difundir especificaciones técnicas y catálogo de conceptos de obra.
- Formular y revisar Términos de Referencia para contratar proyectos ejecutivos mecánicos para obras de infraestructura hidroagrícola en presas de almacenamiento, presas derivadoras, estructuras de control y plantas de bombeo.
- Efectuar visitas de reconocimiento e inspección a zonas del país, para dictaminar la procedencia de obras nuevas de infraestructura hidroagrícola y de rehabilitación.
- Proporcionar asesoría técnica a los Organismos de Cuenca y Direcciones Locales en las etapas de proyectos de la obra mecánica para el desarrollo de infraestructura hidroagrícola.
- Realizar la verificación en campo para que la construcción de las obras de infraestructura hidroagrícola y de rehabilitación mecánica, se realice de acuerdo a los proyectos ejecutivos correspondientes, así mismo realizar visitas técnicas para observar la operación y comportamiento de la infraestructura hidroagrícola con la obra

mecánica construida y obtener la información con la finalidad de optimizar los diseños de infraestructura hidroagrícola.

- Revisar que la información utilizada para la realización de los diseños mecánicos sea suficiente y precisa, a fin de verificar los requisitos de funcionalidad, seguridad y economía, establecidas en la normatividad, así como promover la aplicación de nuevas tecnologías para la modernización del equipo mecánico en obras de infraestructura hidroagrícola.

CAPÍTULO 3 DESCRIPCIÓN DE LA PARTICIPACIÓN DEL ALUMNO EN LA EMPRESA.

DISEÑO Y SELECCIÓN DE TUBERÍA CON VALVULAS DE CONTROL PARA LA OBRA DE TOMA DE UNA PRESA DE ALMACENAMIENTO.

3.1 ANTECEDENTES

Se le denomina Obra de Toma al conjunto de estructuras que se construyen con objeto de extraer el agua en forma controlada de un aprovechamiento, pudiendo ser utilizada con un fin determinado.

Las obras de toma se proyectan de diferentes tipos de acuerdo al aprovechamiento, tales como obras de toma para presas de almacenamiento, para presas derivadoras, plantas de bombeo y tomas directas en corrientes permanentes.

En el caso de las presas de almacenamiento la función de la obra de toma depende de los objetivos para lo cual se proyectó el almacenamiento, se tienen tomas para generación de energía eléctrica, riego, uso urbano, como auxiliares en el control de avenidas, desvío de la corriente durante la construcción y como desagües para el vaciado rápido del vaso. En caso necesario la obra de toma se aprovecha para proveer de un caudal ecológico al cauce del río y asegurar la preservación de vida vegetal, animal y de microorganismos relacionados directamente con el río.

Los tipos de obras de toma más usados en las presas de almacenamiento, son los siguientes:

- Con torre
- Con lumbrera
- Con tubería de presión

La ubicación y el desplante de la obra de toma está en función principalmente del tipo de cortina y el material con el que sea construya (flexible o rígida); en el caso de cortinas de concreto o mampostería la obra de toma comúnmente se coloca atravesando el cuerpo de la cortina; en tanto que para las cortinas de materiales graduados dicha estructura se debe proyectar y construir en terreno firme, por tal motivo la obra de toma deberá estar cimentada por debajo de la superficie de

desplante de la presa y no en rellenos, con lo que se evitan daños por asentamientos diferenciales.

Los aspectos fundamentales a considerar en el diseño de una obra de toma del tipo "Tubería de Presión" para una presa de almacenamiento, cuya función del aprovechamiento es el riego, son los siguientes:

- El análisis hidráulico, que permite seleccionar el diámetro de la tubería conveniente para una correcta operación, bajo el criterio de obtener el gasto de diseño con la carga mínima proyectada en la presa.
- El diseño mecánico, con el cual se analiza la tubería estructuralmente, bajo la condición de soportar los esfuerzos combinados que se le presenten durante la operación y construcción de la obra, con un factor de seguridad determinado.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La elaboración del diseño de la obra de toma del tipo tubería de presión la lleve a cabo tomando como base los datos obtenidos de los Estudios Básicos y el Proyecto Ejecutivo de la Obra Civil de una la presa de almacenamiento destinada para riego agrícola.

En los estudios básicos se precisó que el aprovechamiento está destinado para fines de riego y una porción del gasto de diseño para el caudal ecológico del río, la cortina de la presa será construida de concreto compactado con rodillo (CCR).

La obra de toma es una tubería de presión que atraviesa el cuerpo de la cortina y descarga a la atmósfera mediante válvulas y estructuras disipadoras. Debido a que se requiere suministrar un gasto ecológico por la obra de toma, en los estudios básicos y proyecto de la obra civil considera instalar una bifurcación en la descarga.

Los gastos de diseño de la obra de toma son de 5.00 m³/s y 3.50 m³/s, máximo y mínimo respectivamente, siendo éste último el gasto ecológico requerido.

El proyecto de la obra civil considera para la obra de toma lo siguiente:

- Rejilla de acero instalada en una estructura de entrada al inicio de la obra de toma.
- Entrada abocinada al inicio de la tubería de presión.
- Conducto de acero de aproximadamente 42 m de longitud.
- Válvula de seccionamiento tipo “mariposa” para control de flujo en caso de emergencia.
- Bifurcación reductora de diámetro.
- Dos tramos finales (ramales) a la salida de la bifurcación con su correspondiente válvula de servicio tipo chorro divergente.
- Estructura disipadora de concreto.

El sistema de control que se propone consta de tres válvulas, una de las cuales es de tipo mariposa instalada en la línea principal dentro de una cámara, su función es controlar el caudal en caso de presentarse una emergencia y/o mantenimiento de la válvulas de servicio, las dos válvulas restantes son de tipo chorro divergente para la operación normal de la obra de toma, éstas últimas son conocidas como válvulas de servicio y estarán ubicadas en los extremos aguas abajo de los tramos finales de tubería.

Los datos obtenidos de la Obra Civil del Proyecto Ejecutivo de la Presa de Almacenamiento se muestran en la siguiente tabla.

PRESA DE GRAVEDAD DE CONCRETO	
Elevación de corona	1 638.40 msnm
Elevación del NAME (Nivel de agua máximo extraordinario)	1 635.57 msnm
Elevación de la cresta vertedora (NAMO)	1 628.62 msnm
Elevación del umbral de la Obra de Toma	1 593.00 msnm
Elevación del NAMIN (Nivel de agua mínimo)	1 597.00 msnm
Gasto de diseño	5.0 m ³ /s
Gasto ecológico	3.5 m ³ /s

Tabla 1. Datos de la presa de almacenamiento para el diseño de la Obra de Toma.

A continuación en la figura 1 se muestra la vista en planta y en la figura 2 la sección por el eje de la Obra de toma.

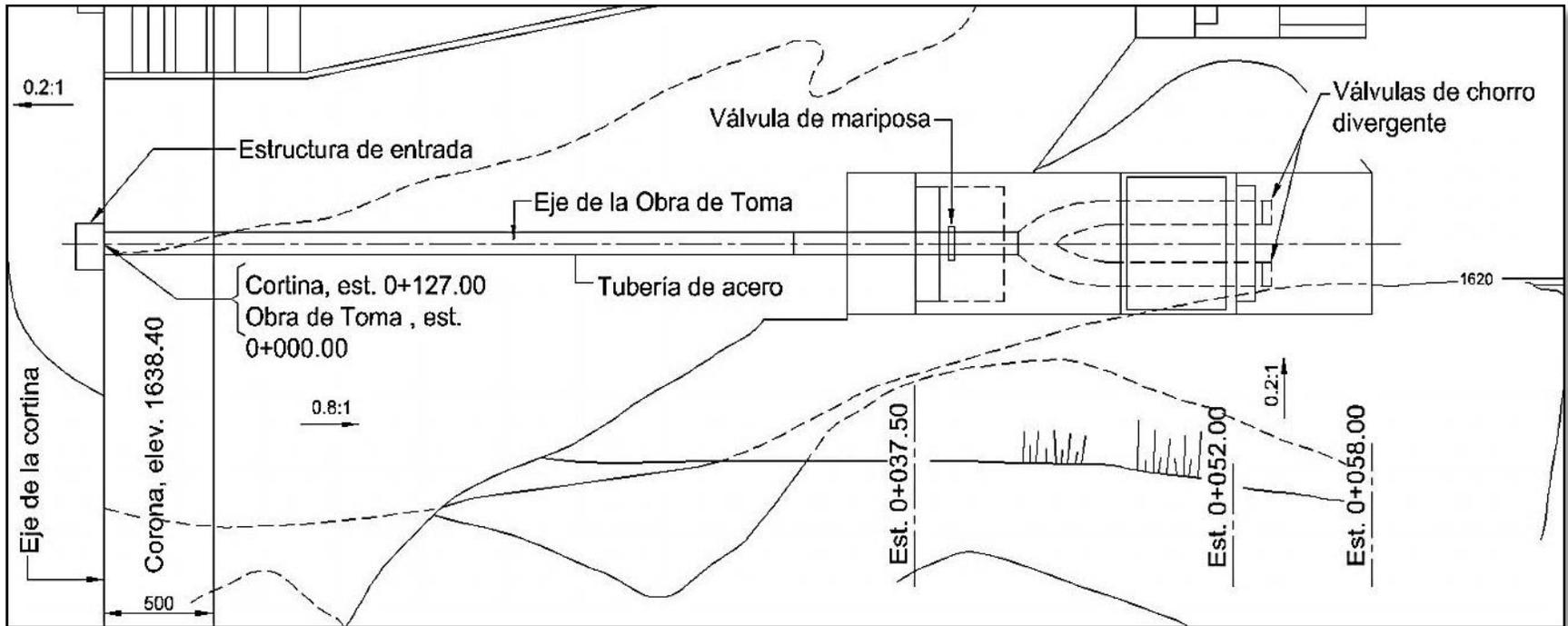


Figura 1. Vista en planta de la obra de toma, estaciones y elevaciones en m.

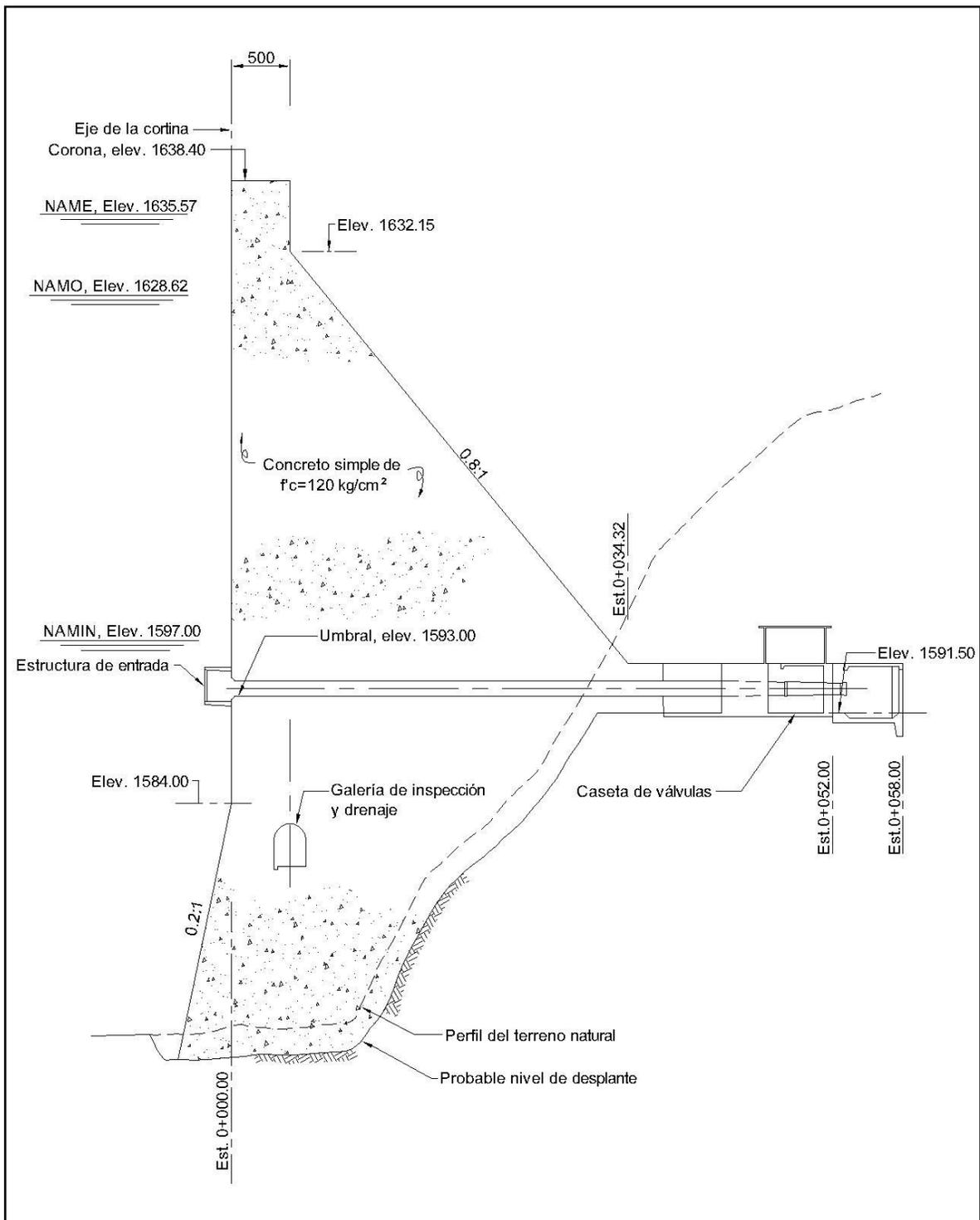


Figura 2. Sección por el eje de la Obra de Toma, estaciones y elevaciones en m.

3.3 PROBLEMA A SOLUCIONAR

Elaborar el diseño y selección de la tubería de presión controlada por medio de válvulas para la obra de toma de una presa de almacenamiento, cuyo gasto de diseño es de 5.0 m³/s y de 3.5 m³/s, máximo y mínimo respectivamente. El trabajo se realizará a partir de los datos obtenidos en los estudios básicos y el proyecto de la obra civil de la presa de almacenamiento destinada al riego agrícola.

3.4 CONCEPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE CONTROL

Para iniciar con el presente trabajo retomé el arreglo propuesto por la obra civil de la obra de toma y propuse un cambio en el arreglo de válvulas.

Propuse adicionar dos válvulas del tipo mariposa que funcionen como válvulas de seccionamiento para seccionar el flujo en el caso de dar mantenimiento a alguna de las válvulas de chorro divergente, con ello no hay la necesidad de operar la válvula de emergencia que interrumpiría el flujo totalmente a través de la obra de toma y se podrá continuar operando con una de las válvulas de chorro divergente.

A continuación se describe la función de cada una de las válvulas:

Una válvula tipo mariposa ubicada en la tubería principal, cuyo fin es controlar el flujo en un caso emergente o falla de algún dispositivo, y proveer una interrupción total del flujo dentro de las tuberías.

Dos válvulas de chorro divergente (de servicio), ubicadas en cada descarga, la operación de estas válvulas obedecerá la demanda de gasto.

Dos válvulas tipo mariposa ubicadas en cada uno de los tramos rectos finales de tubería, entre la bifurcación y las válvulas de chorro divergente. Su función es obstruir el flujo cuando una de las válvulas de chorro divergente (servicio) esté fuera de operación y de esta manera se permita la operación con uno de los ramales de la obra de toma aun cuando una de las válvulas de servicio se encuentre desinstalada.

Cabe mencionar que las válvulas de chorro divergente, por su diseño, cuentan con elementos que requieren de un mantenimiento mayor y con más frecuencia que una del tipo mariposa, por ello y para no operar con frecuencia la válvula de emergencia cada vez que se les aplique

mantenimiento a las válvulas de servicio se justifica la instalación de las dos válvulas adicionales tipo mariposa, llamadas válvulas de mantenimiento.

La configuración del arreglo de válvulas se muestra en la figura 3.

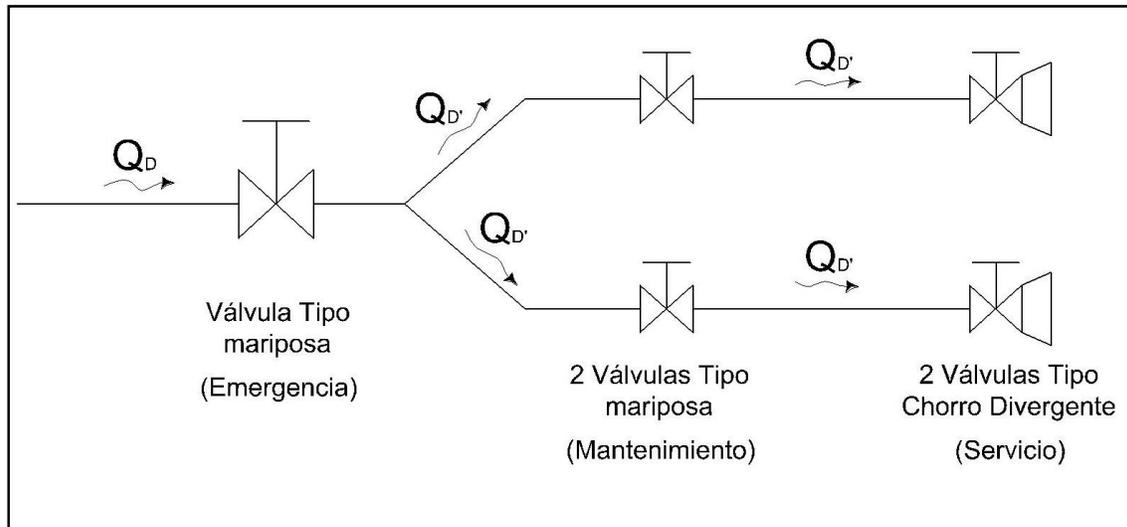


Figura 3. Arreglo de válvulas para el control del flujo de la Obra de Toma.

Todas las válvulas deben poseer operador manual y eléctrico. En la válvula de emergencia y las de mantenimiento los operadores se instalaran contiguos a cada válvula, los operadores de las válvulas de servicio (tipo chorro divergente) se ubicaran en una caseta sobre la losa de la cámara de válvulas.

3.5 DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA OBRA DE TOMA

3.5.1 DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO PRELIMINAR DE LAS TUBERÍAS

Realicé un cálculo de diámetros preliminares de las tuberías, con la condicionante de obtener el gasto de 5 m³/s cuando las dos tomas se encuentren abiertas y 3.5 m³/s con una toma abierta, aun cuando se presente el nivel de agua mínimo en la presa (NAMIN).

El diámetro preliminar de la tubería principal y los ramales lo determiné con el criterio de velocidad económica (Torres H. 1994), con las condiciones de carga máxima al umbral de la tubería, posteriormente verifiqué si el diámetro obtenido de las tuberías cumplen con los gastos de diseño cuando se presente el NAMIN en el embalse.

$$Velocidad\ económica = V_{ec} = 0.125\sqrt{2gH}$$

Donde:

g = aceleración gravitatoria = 9.81 m/s^2

H = carga estática máxima al umbral de la tubería en m

H_{\max} = elev. del NAME – elev. del umbral = $1635.57 - 1593.00 = 42.57 \text{ m}$

Velocidad económica en las tuberías

$$V_{ec} = 0.125\sqrt{2(9.81)(42.57)} = 3.613 \text{ m/s}$$

➤ Diámetro de la tubería principal.

De la ecuación de continuidad

$$Q = VA$$

Donde:

Q_{\max} = gasto máximo de diseño en $\text{m}^3/\text{s} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$

V = velocidad dentro del tubo en $\text{m/s} = 3.613 \text{ m/s}$

A = área de la sección del tubo en m^2

Se obtiene el área (A) de la sección del tubo de la línea principal:

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{Q_{\max}}{V_{ec}} = \frac{5}{3.613} = 1.384 \text{ m}^2$$

Si

$$A = \frac{\pi D^2}{4} [\text{m}^2] \rightarrow D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} [\text{m}]$$

Sustituyendo

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 1.384}{\pi}} = 1.327 \text{ m}$$

$$D = 1.327 \text{ m} \cdot \frac{1''}{0.0254 \text{ m}} = 52.26''$$

El diámetro comercial de tubería más cercano al obtenido es el de 52", sin embargo el diámetro de las válvulas que se fabrican comercialmente cercanas al obtenido es de 54".

Con base en lo anterior propuse la instalación de una tubería principal de 52" de diámetro nominal que atravesará el cuerpo de la cortina de concreto, posterior a ella una ampliación de diámetros para conectar la válvula de emergencia de 54" de diámetro nominal con la cual se dará paso a la bifurcación.

Es necesario que el diámetro propuesto se verifique mediante el análisis hidráulico para determinar si es posible obtener los gastos de diseño cuando se presente el nivel de aguas mínimo en el embalse, denominado NAMIN. De no ser posible obtener los gastos de diseño se realizara una evaluación de diámetro de magnitud superior.

➤ Diámetro de los ramales

En los ramales el gasto máximo de diseño es de $Q_{max}=3.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y la velocidad económica que obtuve anteriormente es $V_{ec}=3.613 \text{ m/s}$.

Al sustituir y despejar el área de la sección de los ramales (A) en la ecuación de continuidad, se tiene que:

$$A = \frac{Q_{max}}{V_{ec}} = \frac{3.5}{3.613} = 0.969 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.969}{\pi}} = 1.11 \text{ m}$$

$$D = 1.11 \text{ m} \cdot \frac{1"}{0.0254 \text{ m}} = 43.73"$$

El diámetro comercial más cercano al obtenido es de 42", por lo tanto propuse dos ramales de 42" de diámetro nominal.

Con los diámetros que seleccioné para la tubería principal y ramales realicé el análisis hidráulico de la Obra de Toma para verificar que se obtengan los gastos de diseño en dos escenarios, con una y dos tomas abiertas.

3.5.2 DESCRIPCIÓN DEL ARREGLO GENERAL

Al inicio de la obra de toma se encuentra la rejilla que impide el paso de sólidos de gran tamaño, adosada a la estructura de entrada y perpendicular al sentido del flujo del agua; la tubería principal de 52" de diámetro nominal inicia en la Estación 0+000.20 km del eje de la obra de toma. El eje de la obra de Toma es horizontal se ubica a la elevación 1659.66 msnm, tal como se muestra en la figura 4.

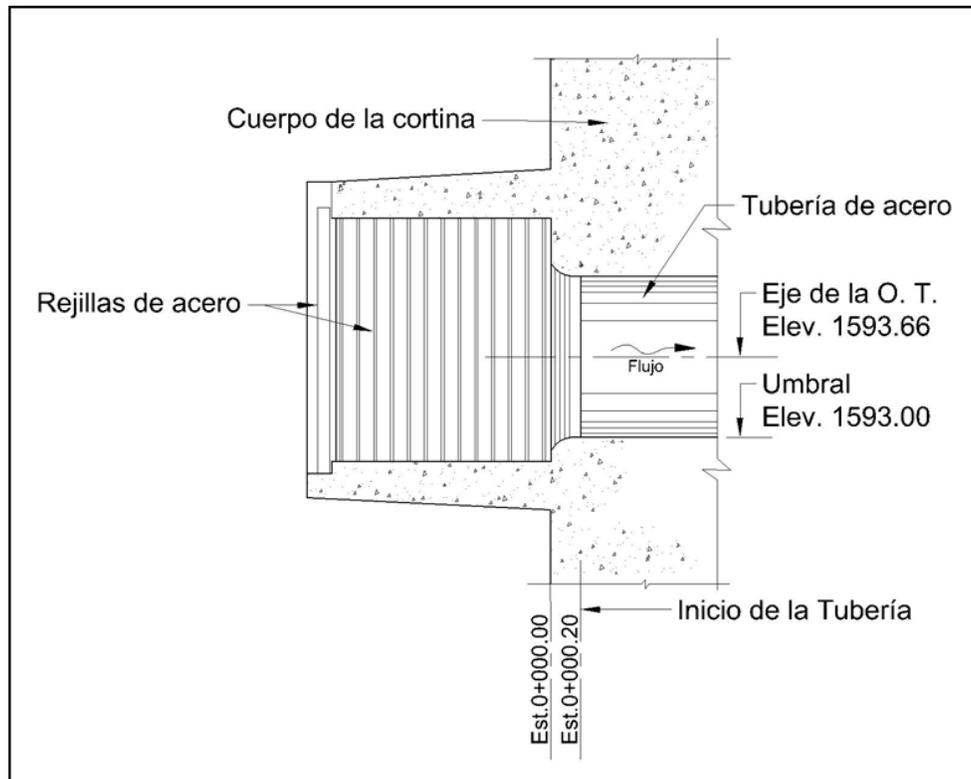


Figura 4. Estructura de entrada de la Obra de Toma. Elevaciones y estaciones en m.

Aguas abajo de la tubería principal se instalará una ampliación de 52" a 54" de diámetro, la ampliación de diámetros se deberá instalar a partir de una estación correspondiente a un múltiplo de la longitud comercial de los tramos de tubo. La longitud comercial de los tramos de tubería es de 6.10 m (20 ft), propuse instalar la ampliación de diámetros en la estación 0+036.80 km, quedando así embebida en el cuerpo de la cortina. En el extremo aguas abajo de la ampliación de diámetros se le soldará un tramo de tubería de 54" de diámetro, por medio del cual la tubería saldrá del embebido de concreto (cuerpo de la cortina) y se conectará la válvula de emergencia tipo mariposa por medio de una brida. Aguas abajo de la válvula de emergencia se ubica la bifurcación embebida en un atraque

de concreto cuyos límites son las estaciones 0+041.50 y 0+046.50, las dimensiones del atraque de concreto se obtuvo del proyecto de la obra civil, posterior al atraque cada ramal continúa con una válvula de mantenimiento tipo mariposa y finalmente en las descargas de los ramales las válvulas de chorro divergente, empotradas en un muro cuyas estaciones limite son 0+052.00 km y 0+052.80 km.

La topografía del lugar donde se ubicará la obra de toma induce a que el proyecto de la obra civil delimite el ancho de la estructura de salida y las cámaras de válvulas a 6.40 m, como se muestra en la figura 5, ello para evitar rellenos y/o excavaciones excesivas.

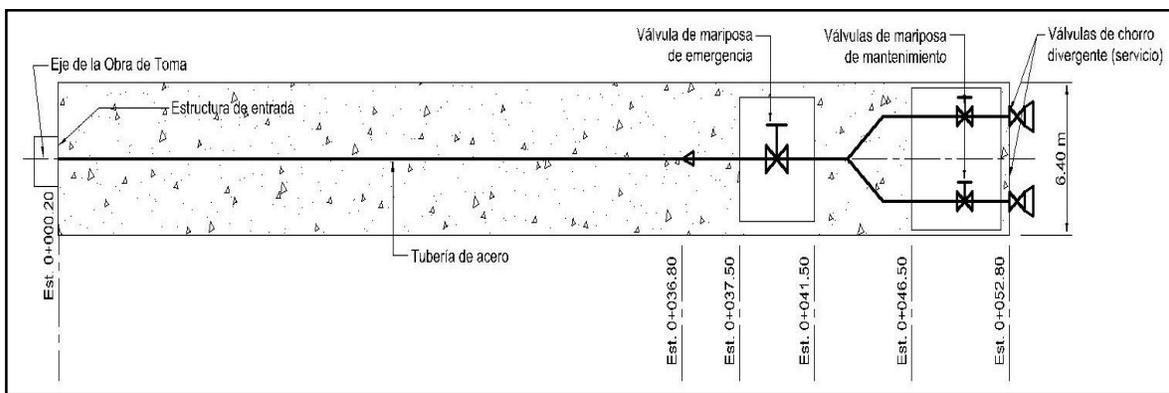


Figura 5. Diagrama general de la Obra de Toma. Vista de planta.

3.5.3 DIMENSIONES GENERALES DE LA OBRA DE TOMA

a) Rejillas de entrada

Con la finalidad de impedir el paso de sólidos de gran tamaño a las Obras de Toma, se colocan rejillas metálicas en la estructura de entrada.

El diseño de las rejillas lo realice bajo las siguientes condiciones (Gaylord y Savage 1929):

- La velocidad del agua al paso por la rejilla no debe ser mayor a 0.61 m/s.
- En el cálculo estructural de la rejilla debe suponerse que está totalmente obstruida, aun cuando esto nunca suceda.
- Las barras se diseñan a la ruptura, tomando la presión de diseño igual a la mitad del tirante máximo del agua sobre ellas, entre los límites de 6.10 m y 15.24 m (20'-50').

- El marco se diseña con un factor de seguridad de 2 del esfuerzo último y se utiliza la misma carga que en las barras.

La separación entre las barras los valores debe ser entre 5 y 15 cm (Torres H. 1994), tomando 10 cm como valor medio.

Las dimensiones de los vanos para las rejillas las tomé del proyecto de la obra civil, donde se proponen tres vanos de 2.20 m de altura por 1.70 m de ancho.

El área neta (A_n) es:

$$A_n = 3 \times 2.10 \text{ m} \times 1.70 \text{ m} = 10.71 \text{ m}^2$$

Suponiendo el 15% del área obstruida por los barrotes, se obtiene el área libre (A_L).

$$A_L = 0.85 \times 10.71 = 9.10 \text{ m}^2$$

La velocidad a través de las rejillas ($V_{rejilla}$):

$$V_{rejilla} = \frac{Q}{A_L}$$

$$V_{rejilla} = \frac{5.00 \text{ m}^3/\text{s}}{9.10 \text{ m}^2} = 0.55 \text{ m/s}$$

Por lo tanto la velocidad que es aceptable.

Realicé el cálculo estructural de la rejilla como se indica a continuación.

La carga de diseño se considera constante en toda la altura de la reja. El acero que se utilizará para la fabricación de las rejillas es acero estructural ASTM A36, cuyo esfuerzo a la ruptura (σ_u) es de 4 080 a 5 625 Kg/cm², promedio 4 850 Kg/cm².

Carga de diseño = 0.5 x H máxima = 0.5 x (NAME - Elev. Umbral)

$$\text{Carga de diseño} = 0.5 \times (1\ 635.57 - 1\ 593.00) = 21.29 \text{ m.}$$

Sobrepasa el límite máximo; por lo tanto se tomará H = 15.24 mca.

La carga distribuida uniforme (ω) por barra.

$$\omega = H \times \text{distancia entre barrotes} \times \text{densidad del agua}$$

$$\omega = 15.24 \text{ m} \times 0.1 \text{ m} \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 1524 \text{ Kg/m} = 15.24 \text{ kg/cm}$$

Tomé barras rectangulares, ya que comúnmente se diseñan las rejillas con soleras rectangulares.

Consideré la barra como una viga simplemente apoyada en sus extremos. Para calcular el momento flector de la barra (M_b).

$$M_b = \frac{\omega l^2}{8}$$

Donde l es la longitud de la barra más 10 cm que apoyan en cada extremo de la estructura de entrada. Sustituyendo valores se tiene:

$$M_b = \frac{15.24 \text{ kg/cm} \times 230 \text{ cm}^2}{8} = 100774.5 \text{ kg} - \text{cm}$$

El módulo de sección en el eje X requerido (S_x) de la barra es:

$$S_x = \frac{M_b}{\sigma_u} = \frac{100774.5}{4850} = 20.78 \text{ cm}^3$$

Si

$$S_x = \frac{t b^2}{6}$$

Donde

t = espesor de la solera en cm

b = ancho de la solera en cm

Propuse un espesor $t = 1.27 \text{ cm}$ (1/2") y se obtiene b , que cumpla con el módulo de sección requerida.

$$b = \sqrt{\frac{6 S_x}{t}} = \sqrt{\frac{6 \times 20.78}{1.27}} = 9.91 \text{ cm}$$

Se instalarán soleras de 13 x 102 mm (1/2" x 4"), ya que es la de medida comercial inmediata superior de las dimensiones obtenidas.

Para el cálculo de las barras de los extremos (marco) utilice como esfuerzo admisible el esfuerzo último con un factor de seguridad de 2.

Por lo tanto la sección (S_x) requerida es:

$$S_x = \frac{M_b}{\sigma_u/2}$$

$$S_x = \frac{100774.5}{4850/2} = 41.56 \text{ cm}^3$$

Propuse $t = 2.22 \text{ cm}$ ($7/8''$)

$$b = \sqrt{\frac{6 S_x}{t}} = \sqrt{\frac{6 \times 41.56}{2.2}} = 10.60 \text{ cm}$$

De acuerdo a lo anterior seleccioné soleras para los marcos de $22 \text{ mm} \times 102 \text{ mm}$ ($7/8'' \times 4''$).

Adicionalmente se instalarán separadores entre las soleras, que servirán para mantener la distancia constante entre ellas y como refuerzos que evitan el pandeo lateral. Para calcular la longitud libre de pandeo lateral de las soleras, dicho de otro modo, la distancia entre los separadores recurrí al diagrama de la figura 6.

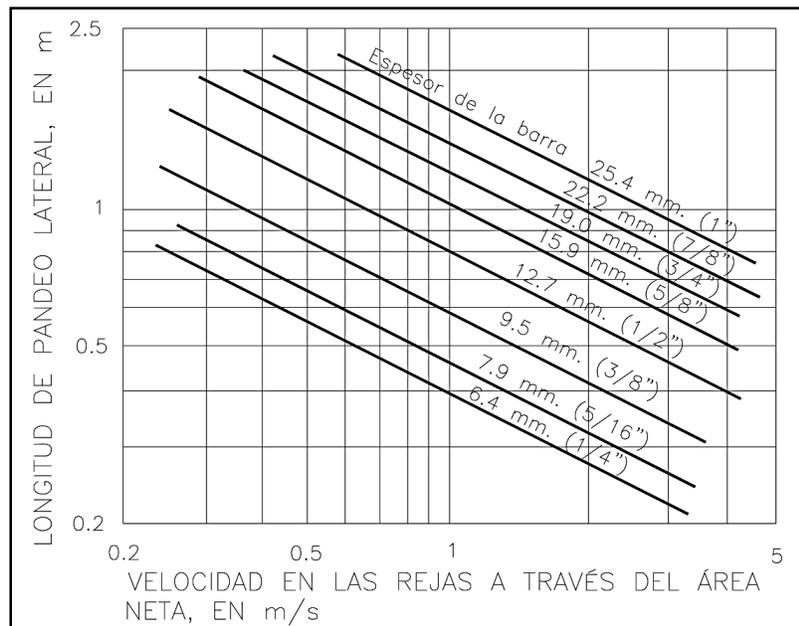


Figura 6. Diagrama para el cálculo de la longitud libre de pandeo de rejillas. Fuente: Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de Instalaciones Mecánicas*. (SEMARNAT, Ed.) México, D. F.

Con los valores obtenidos de velocidad en las rejillas $v=0.55 \text{ m/s}$ y del espesor de la barra $e=12.7 \text{ mm}$, la longitud de pandeo lateral corresponde un valor de 1.2 m , para el presente diseño tomo un valor conservador de 75 cm entre separadores.

b) Longitud de tubería de 132.08 cm (52") de diámetro nominal ($L_{52''}$)

La longitud de la tubería de 132.08 cm (52") de diámetro nominal se obtiene de la diferencia entre las estaciones de inicio de la ampliación y la estación de arranque de la tubería.

$$L_{52''} = \text{est. inicio de ampliación} - \text{est. de arranque} \text{ [m]}$$

$$L_{52''} = (0 + 036.80 \text{ km}) - (0 + 000.20 \text{ km})$$

$$L_{52''} = 36.60 \text{ m}$$

c) Dimensiones de la ampliación de diámetros

Los cambios de diámetro se llevan a cabo utilizando conos concéntricos o excéntricos colocados en sección recta de una línea. El diseño geométrico de la ampliación de diámetros de este proyecto se basa en la normatividad de la AWWA.

El diseño debe cumplir con la condición de longitud de la ampliación de diámetros igual a $4(D_{\text{mayor}} - D_{\text{menor}})$ y/o el ángulo de ampliación menor a 7.0° .

Propongo abertura de 6° y se obtiene la longitud (L_{amp}), ver figura 7.

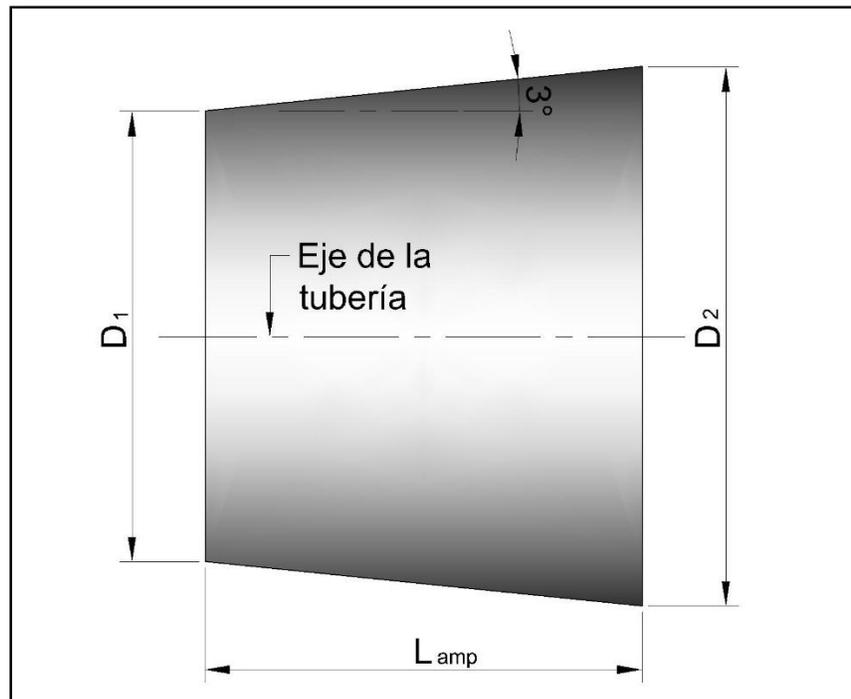


Figura 7. Esquema de la pieza especial para ampliación de diámetros.

De la figura 7 se tiene que:

$$L_{amp} = \frac{0.5(D_2 - D_1)}{\tan 3^\circ} [cm]$$

Donde:

L_{amp} = longitud recta de la ampliación de diámetros.

D_1 = 132.08 cm (52")

D_2 = 137.16 cm (54")

Los diámetros son exteriores

Sustituyendo:

$$L_{amp} = \frac{0.5(137.16 - 132.08)}{\tan 3^\circ} [cm] = \frac{25.4 \text{ mm}}{\tan 3^\circ}$$

$$L_{amp} = 48.5 \text{ cm}$$

La ampliación de diámetros se ubicara sobre el eje de la tubería entre las estaciones 0+036.80 km y 0+037.285 km.

d) Longitud de tubería de 137.16 cm (54") de diámetro nominal

La longitud de la tubería para el cálculo de pérdidas por fricción se toma como la diferencia entre las estaciones de inicio del atraque de concreto y el final de la ampliación de diámetros.

$$L_{54"} = \text{est. inicio del atraque} - \text{est. termino de la ampliacion}$$

$$L_{54"} = (0 + 041.50 \text{ km}) - (0 + 037.285 \text{ km})$$

$$L_{54"} = 4.215 \text{ m}$$

e) Dimensiones y longitudes de la bifurcación reductora

La bifurcación reductora es un conjunto de tres elementos, una bifurcación simple de diámetros iguales en la entrada y las salidas de 137.16 cm (54"), dos codos reductores con diámetro a la entrada de 137.16 cm (54") y salida de 106.68 cm (42").

Al conjunto de los tres elementos, bifurcación y codos reductores, se le denominará bifurcación reductora cuya configuración se muestra en la figura 8.

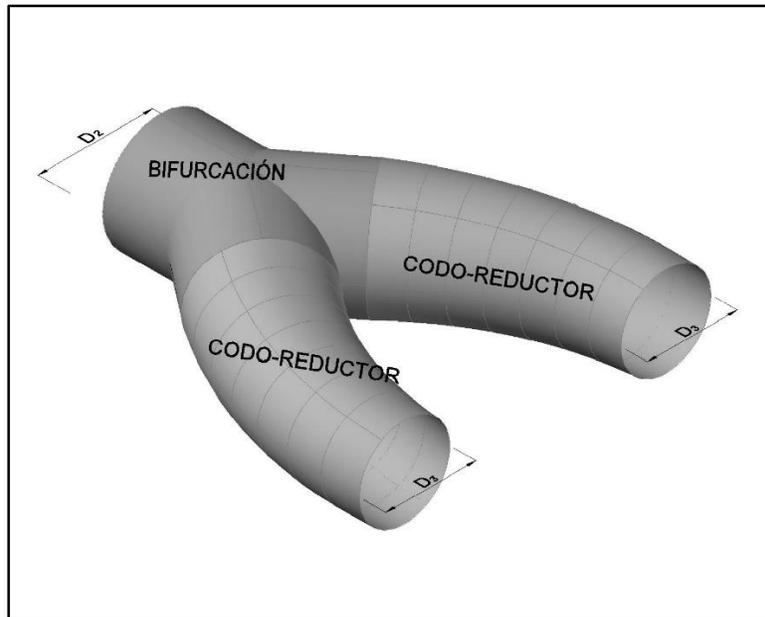


Figura 8. Bifurcación reductora.

Para llevar a cabo el diseño geométrico de la bifurcación reductora consulté normatividad de la CONAGUA, SRH, USBR y la AWWA, atendiendo las líneas de proyecto de la obra civil.

A continuación se describen las condiciones de diseño para los elementos que conforman la bifurcación reductora:

- El ángulo de abertura entre ejes de tubería de los ramales debe estar entre 30° y 90° .
- El radio de curvatura del eje de los codos reductores, debe ser mínimo de 3 diámetros medios y máximo de 5 diámetros medios del codo.
- La longitud de los tramos rectos de la bifurcación deben cumplir con la normatividad correspondiente en función del diámetro y el ángulo de abertura seleccionados.
- La bifurcación reductora debe quedar embebida completamente en el atraque de concreto.
- Los codos reductores deben dar salida a las tuberías de descarga dentro de la cámara de válvulas permitiendo que exista espacio

suficiente para llevar a cabo las maniobras de operación de válvulas.

En la figura 9 se muestra la vista en planta correspondiente a la estructura de salida de la obra de toma, donde se pueden observar las medidas y elevaciones proyectadas para la obra civil.

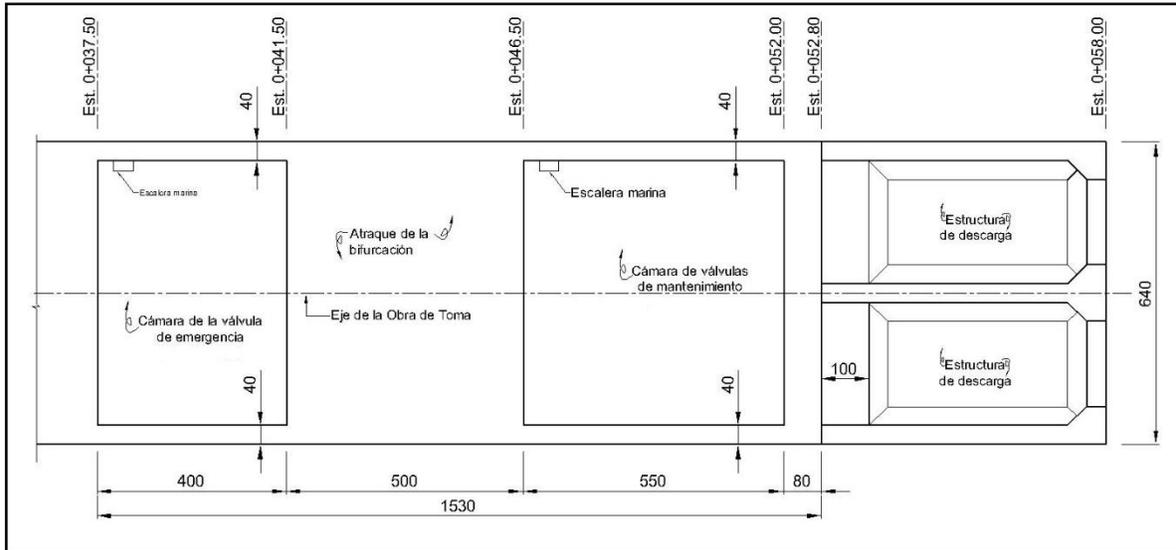


Figura 9. Vista en planta de la estructura de salida de la Obra de Toma. Acotaciones en cm, estaciones y elevaciones en m.

La bifurcación se forma con tres tramos rectos de tubo, recortados y soldados, en consecuencia las uniones soldadas posiblemente requieran un refuerzo debido a la pérdida de porción de pared de tubería, por ello el ángulo de abertura entre las ramas debe permitir la instalación del refuerzo, frecuentemente los refuerzos de las bifurcaciones se instalan como se indica en la figura 10.

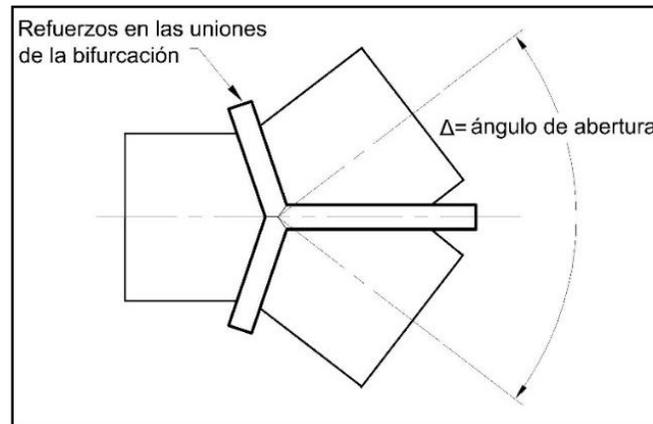


Figura 10. Refuerzos recomendados en bifurcaciones (USBR EM 3 1986), Vista de Planta.

Propuse un ángulo de abertura de 75° entre las ramas, dato con el cual defino las dimensiones de la bifurcación y verifiqué que se cumpla con las condiciones de diseño indicadas anteriormente.

Los datos disponibles para definir las dimensiones de la bifurcación y los codos reductores se indican a continuación:

Longitud del atraque de concreto (L_a)	500 cm
Ancho del atraque de concreto (A_a)	640 cm
Ancho interior de la cámara de válvulas (A_{cv})	560 cm
Angulo de abertura de bifurcación (Δ)	75°
Diámetro exterior de tubería de entrada (D_2)	137.16cm (54")
Diámetro exterior de tuberías de descarga (D_3)	106.68cm (42")
Diámetro medio del codo reductor (D_{med})	121.90cm (48")

El radio del codo reductor (R_c) se obtiene de con la condición de:

$$3D_{med} < R_c < 5D_{med}$$

Si:

$$3D_{med} = 3 \times 1.219 = 365.7 \text{ cm}$$

$$5D_{med} = 5 \times 1.219 = 609.5 \text{ cm}$$

Debe cumplirse que:

$$365.7 \text{ cm} < R_c < 609.5 \text{ cm}$$

El valor del radio de curvatura definitivo de los codos reductores se determina con base en las dimensiones de la obra civil y de la bifurcación, para definirlo correctamente obtuve una relación entre las variables del espacio disponible y radio de curvatura, con la condición principal de que su valor esté dentro del rango de valores determinado anteriormente.

El paso inicial es obtener las dimensiones de los tramos rectos de la bifurcación, en la figura 11 se muestra la bifurcación con las cotas

indicadas en literales, cuyos valores hallé con los datos disponibles y lo estipulado en la normatividad correspondiente.

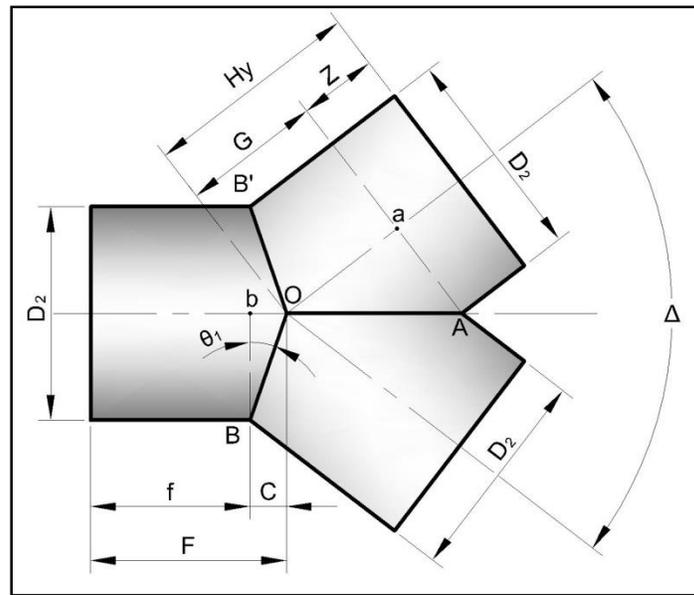


Figura 11. Esquema de dimensiones de la bifurcación, Vista de Planta.

Datos:

$$D_2 = 54'' = 137.16 \text{ cm}$$

$$\Delta = 75^\circ \rightarrow \Delta/2 = 37.5^\circ$$

De la figura 11 se observa que el valor de la longitud recta de la bifurcación (H_y) es:

$$H_y = G + Z$$

El valor de G está función del diámetro y el ángulo de apertura

$$G = \frac{0.5 D_2}{\tan \Delta/2}$$

Sustituyendo tenemos que:

$$G = \frac{0.5 \times 137.16}{\tan(75/2)} = 89.3 \text{ cm}$$

Con base en el diámetro el valor de mínimo Z es 6 pulgadas (AWWA C-208-06).

$Z_{\text{mínima}} = 6''$; Adicionando un 50% del valor mínimo se tiene que:

$$Z = 1.5 \times Z_{\text{mínima}} = 9'' = 22.8 \text{ cm}$$

$$H_y = 89.3 + 22.8 = 112.1 \text{ cm}$$

Se tomará $H_y = 112 \text{ cm}$ y $Z = 22.7 \text{ cm}$

El valor de F depende de las dimensiones de f y C; f se obtendrá de la longitud del atraque de concreto ya que en ese tramo es donde se realiza la conexión con la tubería que queda fuera del atraque, por ello para definir f definitiva se deberán conocer las longitudes de los codos reductores (X) y así determinar el espacio disponible aguas arriba de la bifurcación, por ello F y f se determinarán más adelante, únicamente obtenemos el valor de C mediante la siguiente expresión.

$$C = \overline{Bb} \tan \theta_1$$

Dónde:

$$\theta_1 = \Delta/4 = 18.75^\circ$$

$$\overline{Bb} = 0.5 D_2 = 68.58 \text{ cm}$$

Sustituyendo:

$$C = 68.58 \times \tan 18.75^\circ = 23.28 \text{ cm}$$

Para conocer las longitudes de los codos reductores (X) se identifican los espacios disponibles de la obra civil, los cuales se muestran en la figura 12, se considera que los codos reductores son simétricos.

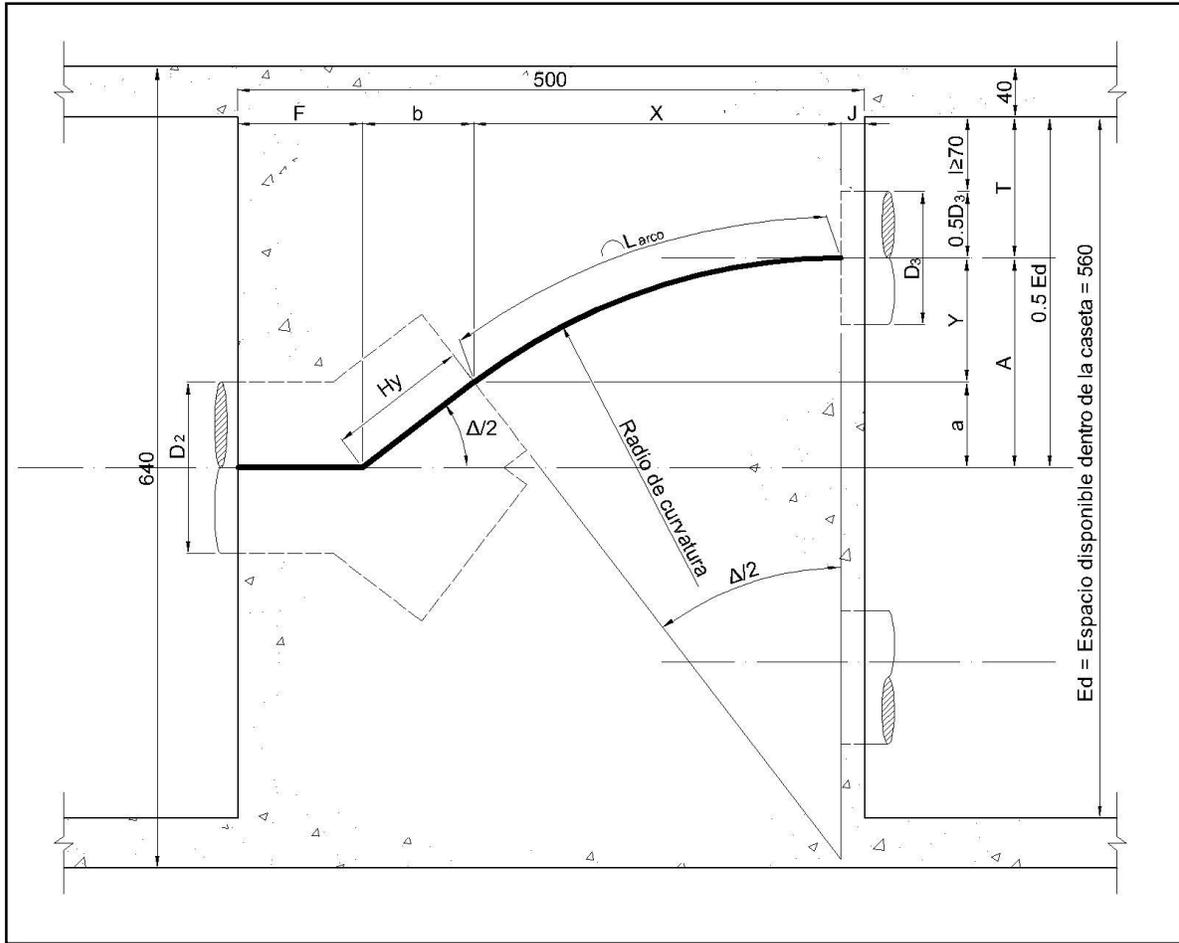


Figura 12. Esquema de dimensiones generales de la bifurcación reductora y la obra civil, vista de planta acotaciones en cm.

Debe existir un espacio suficiente para el acceso entre las tuberías de descarga y el interior de los muros de la caseta de válvulas, el cual en la figura 12 se definió con la letra "I", el cual debe ser mínimo de 70 cm.

Para hallar el valor de R_c adecuado y los demás valores de las acotaciones de la figura 12, es necesario establecer una relación entre radio de curvatura en función del valor mínimo de "I", por lo tanto de la figura se asevera que:

$$0.5Ed = 0.5 \times 560 = 280 \text{ cm}$$

$$a + Y + 0.5D_3 + I = 280 \text{ cm}$$

Se despeja I

$$I = 280 - a - 0.5D_3 - Y$$

A partir de valores conocidos, se hallaran los valores de "Y", "a" y "0.5D₃".

$$Y = R_c - R_c \cos \frac{\Delta}{2} \text{ [cm]}$$

$$a = H_y \sin \frac{\Delta}{2} = 112 \sin 37.5^\circ = 68.181 \text{ cm}$$

$$0.5D_3 = 53.34 \text{ cm}$$

Sustituyendo los valores encontrados se obtiene la relación entre I y R_c.

$$I = 280.0 - 68.181 - 53.34 - (R_c - R_c \cos 37.5^\circ)$$

$$I = 158.479 - R_c + R_c \cos 37.5^\circ$$

$$\text{Si } I \geq 70 \text{ cm}$$

$$158.479 - R_c + R_c \cos 37.5^\circ \geq 70.0$$

Por lo tanto,

$$-R_c \geq \frac{70.0 - 158.479}{1 - \cos 37.5^\circ}$$

$$R_c \leq 428.163 \text{ cm}$$

Propuse el radio de curvatura R_c = 420.0 cm, ya que cumple con la condición de:

$$365.7 \text{ cm} < R_c < 609.5 \text{ cm}$$

Solo queda comprobar que "I" sea ≥ 70 cm, sustituyendo R_c=420 cm en la ecuación que relaciona ambas variables.

$$I = 158.479 - 420.0 + 420.0 \cos 37.5^\circ \text{ [cm]}$$

$$I = 71.69 \text{ cm} \therefore \text{cumple la condición}$$

Con el valor del radio de curvatura se determinan las dimensiones faltantes X, Y, L_{arco}, b, T y A de la figura 12.

$$X = R_c \sin \frac{\Delta}{2} = 420.0 \sin 37.5 = 255.68 \text{ cm}$$

$$Y = R_c - R_c \cos \frac{\Delta}{2} = 420.0 - 420 \cos 37.5 = 86.79 \text{ cm}$$

$$L_{\text{arco}} = \left(\frac{\Delta/2}{360} \right) 2\pi R_c = \frac{37.5}{360} \times 2\pi \times 420 = 274.89 \text{ cm}$$

$$b = H_y \cos \frac{A}{2} = 112 \cos 37.5^\circ = 88.86 \text{ cm}$$

$$T = I + 0.5D_3 = 53.34 + 71.69 = 125.03 \text{ cm}$$

$$A = \frac{Ed}{2} - T = 280 - 125.03 = 154.97 \text{ cm}$$

Con los resultados que obtuve anteriormente es posible retomar el cálculo del valor de F y f de la figura 11, y a su vez definir la magnitud de J indicada en la figura 12:

$$500 \text{ cm} = F + b + X + J$$

Se sabe que:

$$F = f + C = f + 23.28$$

Sustituyendo tenemos:

$$500 \text{ cm} = f + 23.28 + 88.86 + 255.68 + J$$

Por lo tanto,

$$f + J = 132.18 \text{ cm}$$

Los valores de f y J los determino conforme a la relación de diámetros que les corresponden, es decir:

$$\frac{D_2}{D_3} = \frac{f}{J} = 1.29$$

$$J = \frac{f}{1.29}$$

De acuerdo a lo anterior,

$$f + \frac{f}{1.29} = 132.18 \text{ cm}$$

$$f = 74.46$$

$$J = 57.72$$

Finalmente

$$F = 74.46 + 23.28 = 97.74 \text{ cm}$$

En la figura 13 se muestran el esquema de dimensiones generales de la bifurcación reductora con las medidas obtenidas.

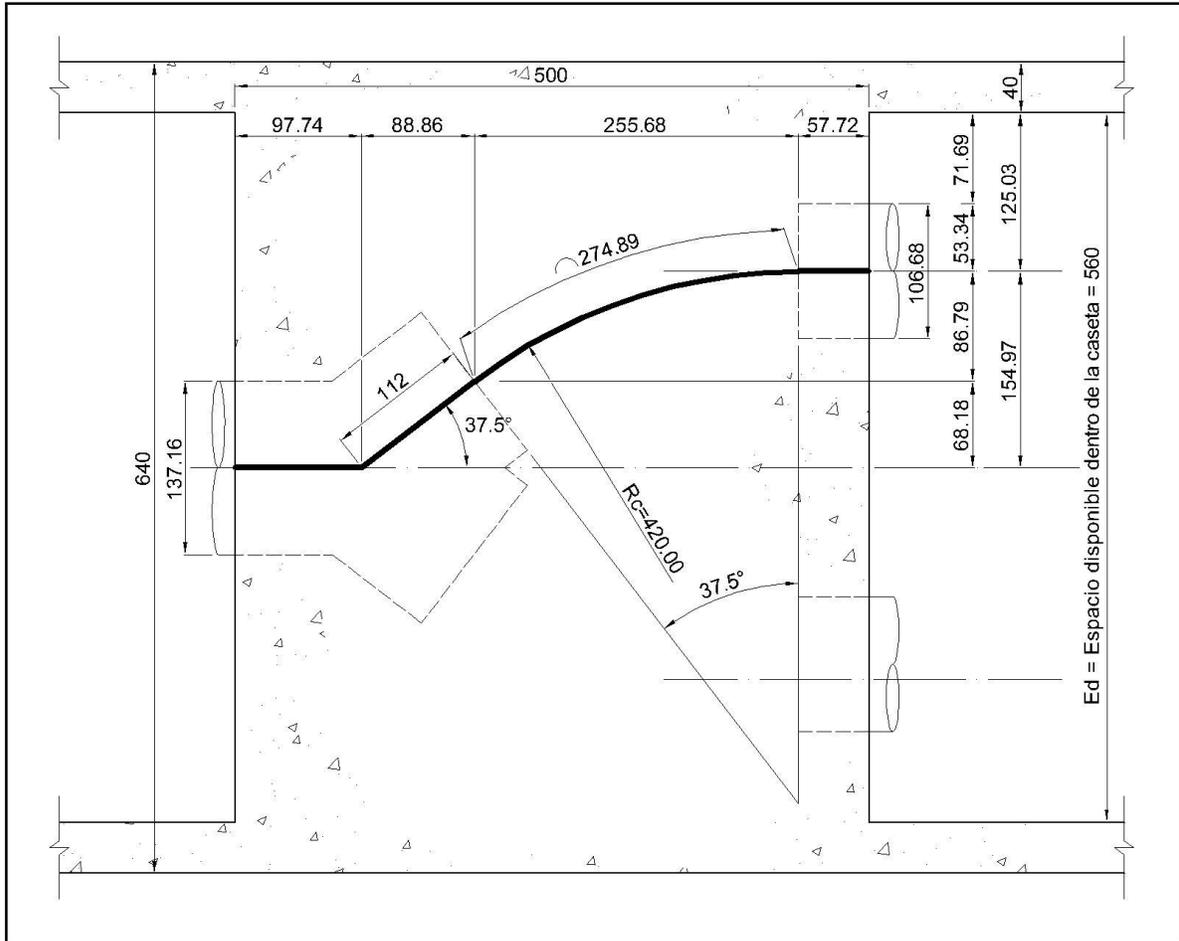


Figura 13. Esquema de dimensiones generales de la bifurcación reductora y obra civil, vista de planta acotaciones en cm.

f) Longitud de las tuberías de 106.68 cm (42") de diámetro nominal

La longitud de las tuberías de 106.68 cm (42") de diámetro, para el cálculo de pérdidas por fricción, la tomé como la diferencia entre las estaciones correspondientes a la cara aguas abajo del muro que soporta las válvulas de chorro divergente (de servicio) y la estación de la cara aguas abajo del atraque de la bifurcación, aumentando un metro debido al tramo que deberá sobresalir del muro de atraque de las válvulas de servicio.

$$L_{42''} = (\text{est. atarque de vál. servicio} - \text{est. de atraque}) + 1 \text{ [m]}$$

$$L_{42''} = (0 + 052.80 - 0 + 046.50) + 1$$

$$L_{42''} = 7.30 \text{ m}$$

3.5.4 ANÁLISIS HIDRÁULICO

El análisis del funcionamiento hidráulico de la obra de toma se realiza con el objeto de verificar que sea posible obtener el gasto de diseño, cuando se presente el nivel de aguas mínimo disponible en la presa.

Con las dimensiones generales obtenidas de la obra de toma se realiza el cálculo hidráulico para obtener el nivel de agua mínimo de operación en el vaso en dos escenarios:

- **Escenario 1. Las dos válvulas de servicio abiertas, descargando un gasto en conjunto de 5.00 m³/s**
- **Escenario 2. Una válvula de servicio abierta, descargando un gasto de 3.50 m³/s.**

El análisis hidráulico lo realicé con la aplicación de la ecuación de la energía en un sistema abierto, con un punto inicial (p_i) ubicado aguas arriba de la estructura de entrada en el nivel de agua mínimo de operación (NAMINO) y el punto final de salida (p_f) en la descarga de la válvula de chorro divergente a la elevación del eje de la tubería de obra de toma.

La ecuación de la energía se tiene a continuación:

$$Z_i + \frac{P_i}{\gamma} + \frac{V_i^2}{2g} = Z_f + \frac{P_f}{\gamma} + \frac{V_f^2}{2g} + h_r$$

Donde:

Z = Carga de posición en m.

Z_i = Elev. NAMINO – Elev. del eje de la obra de toma.

Z_i = Elev. NAMINO – 1593.66 m.

Z_f = Nivel del eje de descarga, plano horizontal de referencia (PHR) en m.

Z_f = 1593.66 m

P/γ = P/pg = Carga de presión en m.

$V^2/2g$ = h_{vel} = Carga de velocidad en m.

h_r = Pérdida de energía por unidad de peso, es la suma de pérdidas por fricción y locales de los elementos que componen el sistema, en m.

La ecuación aplicada al sistema de la obra de toma queda como sigue:

$$Z_i = h_r + \frac{V_f^2}{2g}$$

Donde:

Z_i = Carga necesaria para obtener el gasto de diseño

h_r = Pérdidas por fricción y locales del sistema en m.

$V_f/2g$ = Carga de velocidad en la salida en m.

Para obtener la suma de pérdidas en la obra de toma ya se conocen los elementos principales del arreglo de la obra de toma los cuales se enuncian a continuación:

- Rejilla de entrada
- Entrada abocinada o redondeada
- Tubería principal de 52" de diámetro
- Ampliación de diámetros 52" a 54" de diámetro
- Válvula de emergencia de 54" de diámetro
- Bifurcación
- Codos reductores
- Tuberías de los ramales de 42" de diámetro
- Válvulas de mantenimiento de 42" de diámetro
- Válvulas de chorro divergente de 42" de diámetro

Realicé el análisis hidráulico para cada uno de los dos escenarios, presentados en el anexo, obteniendo los siguientes resultados:

Resultados del análisis hidráulico

Escenario 1

La elevación mínima necesaria para proporcionar el gasto de 5.00 m³/s con los dos ramales abiertos es:

Elevación del NAMINO = 1595.80 msnm

La elevación del nivel agua mínimo (NAMIN) en la presa, indicado por los estudios básicos y obra civil, es 1597.00 msnm, por lo que la carga disponible es H_{dis} :

$$H_{dis} = \text{NAMIN} - \text{NAMINO} = 1597.00 - 1595.80 = 1.2 \text{ mca.}$$

Se concluye que los diámetros seleccionados son correctos para proporcionar el gasto de diseño de 2.5 m³/s.

Escenario 2

La elevación mínima necesaria para proporcionar el gasto de 3.50 m³/s con un ramal abierto es:

$$\text{Elevación del NAMINO} = 1596.43 \text{ msnm}$$

La elevación del nivel agua mínimo (NAMIN) en la presa, indicado por los estudios básicos y obra civil, es 1597.00 msnm, por lo que la carga disponible es H_{dis} :

$$H_{dis} = \text{NAMIN} - \text{NAMINO} = 1597.00 - 1596.43 = 0.57 \text{ mca.}$$

Se concluye que los diámetros seleccionados son correctos para proporcionar el gasto de diseño de 3.5 m³/s.

3.5.5 SELECCIÓN DE DIÁMETROS DE TUBERÍAS DE RODEO BY-PASS

Las tuberías de rodeo by-pass se instalan en los tramos de tuberías adyacentes a las válvulas de tipo mariposa (emergencia y mantenimiento), su función es realizar el llenado de la tubería principal, aguas abajo de la válvula correspondiente a su ubicación, con la finalidad de igualar presiones aguas arriba y aguas abajo de la válvula. El diámetro de la tubería de rodeo by-pass está en función del tiempo de llenado de la tubería de aguas abajo.

- Selección del diámetro de la tubería de rodeo by-pass de la válvula de 137.16 cm (54") de diámetro.

El volumen por llenar mediante el by-pass de la válvula de emergencia es el espacio contenido dentro de la bifurcación reductora más los tramos de tubería recta hasta las válvulas de mantenimiento.

$$\text{Volumen por llenar} = 26 \text{ m}^3$$

Tiempo estimado = 5 min = 300 s

Se obtiene el gasto requerido:

$$Q = 26/300 = 0.0867 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se limita la velocidad dentro de la tubería de by-pass a 5 m/s, adecuada para las válvulas de control de dicha tubería. Se obtiene el área y el diámetro requerido.

$$\text{Área requerida} = Q/V = 0.0867/5 = 0.017 \text{ m}^2$$

$$\text{Diámetro requerido} = \sqrt{\frac{4 \times 0.017}{\pi}} = 0.147 \text{ m} \times \frac{1''}{0.0254 \text{ m}} = 5.79'' \approx 6''$$

El diámetro nominal de la tubería de rodeo by-pass de la válvula de emergencia es de 15.24 cm (6").

- Selección del diámetro de la tubería de rodeo by-pass de las válvulas de 106.68 cm (42") de diámetro.

El volumen por llenar mediante el by-pass de las válvulas de mantenimiento es el espacio contenido dentro de tramos de tubería recta de 42" hasta las válvulas de servicio.

$$\text{Volumen por llenar} = 4.4 \text{ m}^3$$

Tiempo estimado = 2 min = 120 s

Se obtiene el gasto requerido:

$$Q = 4.4 / 120 = 0.037 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se limita la velocidad dentro de la tubería de by-pass a 5 m/s, adecuada para las válvulas de control de dicha tubería. Se obtiene el área y el diámetro requerido.

$$\text{Área requerida} = Q/V = 0.037/5 = 0.007 \text{ m}^2$$

Diámetro:

$$\text{Diámetro requerido} = \sqrt{\frac{4 \times 0.007}{\pi}} = 0.094 \text{ m} \times \frac{1''}{0.0254 \text{ m}} = 3.7'' \approx 4''$$

El diámetro nominal de la tubería de rodeo by-pass de las válvulas de mantenimiento es de 10.16 cm (4").

3.5.6 SELECCIÓN DE DIÁMETROS DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y EXPULSIÓN DE AIRE (VAEA).

Las válvulas de admisión y expulsión de aire se instalan aguas abajo de las válvulas de tipo mariposa (mantenimiento y emergencia), idealmente las VAEA cumplen la función de expulsar el aire contenido dentro de la tubería cuando se lleva a cabo el llenado de los tramos de tuberías por medio de los by-pass. Sin embargo existe un caso crítico en el llenado de las tuberías y se presenta cuando una de las válvulas de la línea principal (emergencia o mantenimiento) se opera sin previa maniobra de los by-pass, con lo cual el flujo que debe expulsar la válvula de admisión y expulsión de aire mayor.

De acuerdo a lo anterior para la selección de diámetros de las válvulas de admisión y expulsión de aire de la obra de toma se considera el 20% del gasto de diseño de la tubería donde se ubiquen las válvulas.

La selección de diámetros de las válvulas de admisión y expulsión de aire, se realiza con ayuda de tablas de fabricantes, siendo el dato de entrada el flujo de la línea donde se instala la válvula.

En este caso la selección de diámetros la realicé con la gráfica para selección de diámetros de un fabricante nacional, ver hoja de selección de diámetros de VAEA en Anexo Figura A-3.

- Selección de VAEA para tubería de 137.16 cm (54").

Gasto = $5000 \times 20\% = 1000$ lps; Diámetro de la válvula = 6"

- Selección de VAEA para tuberías de 106.68 cm (42").

Gasto = $2500 \times 20\% = 500$ lps; Diámetro de la válvula = 4"

Para cada una de las válvulas será instalada una válvula de seccionamiento tipo compuerta del mismo diámetro, con el fin de estar en posibilidades de desinstalar las VAEA sin dejar fuera de operación la obra de toma.

3.6 DISEÑO MECÁNICO DE LAS TUBERÍAS QUE CONFORMAN LA OBRA DE TOMA.

En esta sección determino el espesor de las tuberías de la obra de toma, con base en las condiciones de carga y esfuerzos aplicados durante la instalación y operación de la obra de toma, ello considerando la disponibilidad comercial.

3.6.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

El espesor de la tubería se selecciona para soportar la presión interna máxima, externa y los esfuerzos combinados que se provocan por las cargas aplicadas a la tubería durante la instalación y operación.

En el mercado existen tres tipos de fabricación comercial para tuberías de acero, fabricada con placas roladas y soldadas longitudinalmente, tubería con soldadura helicoidal y tubería continua sin costura.

En este proyecto propongo tubería fabricada con placas de acero roladas y soldadas longitudinalmente, debido a que en este tipo de tuberías los esfuerzos cortantes ocasionados por la presión interior no influyen en las uniones soldadas y se obtienen menores posibilidades de falla en las soldaduras.

En el mercado nacional se comercializan tuberías de acero de diversas clasificaciones, para la selección del material en este proyecto atendí las recomendaciones indicadas en la normatividad de la AWWA para estructuras de este tipo.

El acero para fabricación de la tubería será acero estructural clasificación ASTM A 36 con un esfuerzo de fluencia (F_y) de 2530 kg/cm² (36 000 lb/in²), y en el diseño será considerado un el esfuerzo admisible igual al 50% del esfuerzo de fluencia.

En el análisis se realizará en primer lugar a los tramos de tuberías rectas y finalmente se analizará la bifurcación reductora.

Para realizar el diseño mecánico se toman los resultados obtenidos en el punto "3.5 Diseño geométrico de la obra de toma".

3.6.2 PRESIÓN INTERNA DE LA TUBERÍA (P_{int})

La presión interna (P_{int}) de la tubería se obtiene de la suma de presiones generadas por la carga estática máxima y la sobrepresión por golpe de Ariete.

$$P_{int} = H_{est} + \Delta H$$

Donde

H_{est} = Carga estática máxima en mca.

ΔH = Sobrepresión debida al golpe de ariete en mca.

Carga estática máxima (H_{est})

$$H_{est} = NAME - \text{Nivel del eje de la obra de toma}$$

$$H_{est} = 1635.57 - 1593.66 = 41.91 \text{ mca}$$

$$H_{est} = \mathbf{41.91 \text{ mca}}$$

Sobrepresión debida al golpe de ariete (ΔH)

El golpe de ariete se genera en la tubería con el cierre de una válvula. En el presente proyecto se presentan dos casos críticos para este efecto:

Caso 1. Cuando la obra de toma se encuentra operando con las dos válvulas de servicio abiertas y se cierran de las dos válvulas al mismo tiempo.

Caso 2. Cuando la obra de toma opera con sólo una válvula de servicio abierta y se presenta el cierre esa válvula.

La velocidad con la que se propaga la onda de sobrepresión dentro de la tubería es llamada celeridad (a), y depende de las propiedades de la tubería y el fluido de trabajo.

La celeridad la obtuve con la siguiente expresión:

$$a = \frac{0.319}{\sqrt{\frac{W}{g} \left(\frac{1}{k} + \frac{d}{E t} \right)}}$$

Donde:

a = celeridad o velocidad de propagación de la onda en m/s

W = peso específico del fluido en kg/m³

g = gravedad en m/s²

k = módulo de compresibilidad del fluido en Pa

d = diámetro interior del conducto en mm

E = módulo de elasticidad del material en Pa

t = espesor del conducto en mm

El tiempo empleado por la onda de presión en alcanzar la válvula en su recorrido de ida y vuelta a lo largo de la tubería, se denomina tiempo crítico (T_c) y está dado por:

$$T_c = \frac{2L}{a}$$

Dónde:

T_c = tiempo crítico en s

L = longitud total de la tubería en m

a = celeridad en m/s

La sobrepresión por golpe de ariete puede obtenerse mediante dos fórmulas, el uso de ellas depende de la relación que guarda el tiempo de cierre de las válvulas (T_{cval}) con el tiempo crítico (T_c). Las formulas son las siguientes:

Formula de Michaud

$$\Delta H = \frac{2LV}{g T_{cierre}} \quad T_{cval} > T_c \text{ (cierre lento)}$$

Formula de Allievi

$$\Delta H = \frac{aV}{g} \quad T_{cval} < T_c \text{ (cierre rápido)}$$

Donde:

ΔH = incremento de carga en mca.

L = longitud de la tubería en m

V = velocidad del flujo obstruido en m/s

a = celeridad en m/s

T_{cierre} = tiempo de cierre de las válvulas en s

g = aceleración gravitatoria = 9.81 m/s^2

El tiempo de cierre de las válvulas es un factor determinante para elegir la ecuación a utilizar para obtener la sobrepresión generada por el golpe de ariete, en el caso del presente proyecto se contempla que el tiempo de cierre mínimo de las válvulas es de 5 segundos. Ello debido a que, en la operación normal, la abertura de la válvula de servicio dependerá de la elevación que tenga el embalse y con una carga máxima la válvula no se abre totalmente.

Para determinar la fórmula que se debe utilizar para el cálculo de la sobrepresión por golpe de ariete es necesario conocer el tiempo crítico y ello comprende la obtención de la celeridad.

En el cálculo de la celeridad debe considerarse que la tubería está compuesta por diferentes diámetros y existen tramos embebidos en concreto, afectando el módulo de elasticidad del material del tubo, la celeridad equivalente (a_{eq}) se obtiene mediante un análisis que determina un promedio de celeridades correspondientes a cada condición de los tramos de tubos que componen la obra de toma.

En el anexo se puede observar el procedimiento de cálculo de la celeridad equivalente (a_{eq}) y el tiempo crítico (T_c), cuyos resultados son los siguientes:

$$a_{eq} = 1246.4 \text{ m/s}$$

$$T_c = 0.1 \text{ s}$$

Es posible observar que el tiempo en el que la onda de sobrepresión recorre dos veces la longitud de la tubería (T_c) en despreciable

comparándolo con el tiempo de cierre de válvulas, cuyo valor es de 5 segundos, por lo que se considera un cierre lento.

De acuerdo a lo anterior para el cálculo de la sobrepresión por golpe de ariete (ΔH) se utilizará la fórmula de Michaud.

Retomando los dos casos en los que se presenta el golpe de ariete se calcula a continuación la sobrepresión para cada uno de ellos.

Caso 1 (ΔH_1): Se contempla dos veces la velocidad del flujo obstruido por efectuar el cierre de las dos válvulas en el mismo instante.

$$\Delta H_1 = 2 \times \frac{2LV_{\text{caso 1}}}{g T_{\text{cierre}}}$$

Datos:

$L = 54.023 \text{ m}$ (se adiciona 1m por la conexión de la válvula de chorro divergente)

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$T_{\text{cierre}} = 5 \text{ s}$$

$V_{\text{caso 1}} =$ velocidad del flujo obstruido en el caso 1 (gasto de $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$).

$$V_{\text{caso 1}} = \frac{2.5 \text{ m}^3/\text{s}}{0.862 \text{ m}^2} = 2.90 \text{ m/s}$$

Sustituyendo datos para obtener ΔH_1

$$\Delta H_1 = 2 \times \frac{2 \times 54.023 \times 2.9}{9.81 \times 5} = 12.78 \text{ mca}$$

$$\Delta H_1 = \mathbf{12.78 \text{ m. c. a}}$$

Caso 2 (ΔH_2): Sobrepresión por golpe de ariete en el caso 2:

$$\Delta H_2 = \frac{2LV_{\text{caso 2}}}{g T_{\text{cierre}}}$$

Datos:

$$L = 54.023 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$T_{\text{cierre}} = 5 \text{ s}$$

$V_{\text{caso 2}}$ = velocidad del flujo obstruido en el caso 2, (gasto de 3.5 m³/s).

$$V_{\text{caso 2}} = \frac{3.5 \text{ m}^3/\text{s}}{0.862 \text{ m}^2} = 4.06 \text{ m/s}$$

Sustituyendo los datos para obtener ΔH_2

$$\Delta H_2 = \frac{2 \times 54.023 \times 4.06}{9.81 \times 5} = 8.94 \text{ mca}$$

$$\Delta H_2 = 8.94 \text{ mca.}$$

Se toma el valor máximo de la sobrepresión obtenida de ambos casos, para ser sumado a la presión estática y obtener la presión interna máxima de la tubería (P_{int}).

$$P_{\text{int}} = H_{\text{est}} + \Delta H_1 = 41.91 + 12.78 = 54.69 \text{ m. c. a.}$$

Para efectos de cálculo será considerada la presión interna máxima:

$$P_{\text{int}} = 55 \text{ mca} = 5.5 \text{ kg/cm}^2$$

3.6.3 CÁLCULO DE ESPESOR

a) Espesor de la tubería por presión interna (t_{pi})

El espesor de la tubería capaz de soportar la presión interna, se obtiene con la siguiente expresión:

$$t_{\text{pi}} = \frac{P_{\text{int}} D}{2 S \eta} + c$$

Dónde:

t_{pi} = Espesor de la tubería en cm

P_{int} = Presión interna en kg/cm²

D = Diámetro en cm

S = Esfuerzo admisible del material en kg/cm² = 1265 kg/cm²

η = Eficiencia de las juntas soldadas = 66% (CONAGUA 2007)

c = Sobre espesor por corrosión en cm = 0.25 cm (CONAGUA 2007)

Con los datos obtenidos anteriormente es posible calcular el espesor requerido que soporte la presión interna para cada tramo de tubería, dependiendo de su diámetro nominal.

En el cuadro 1 se muestran los espesores mínimos obtenidos para cada diámetro.

CUADRO 1. ESPESORES POR PRESIÓN INTERNA				
Datos	Diámetro nominal de tubería	Sustituyendo datos en la fórmula $t_{pi} = \frac{P_{int} D}{2 S \eta} + c$	Espesor mínimo obtenido	Espesor comercial superior más cercano
$P_{int} = 5.5 \text{ kg/cm}^2$ $S = 1265 \text{ kg/cm}^2$ $\eta = 78\%$ $c = 0.25 \text{ cm}$	$D_1 = 132.08 \text{ cm (52")}$	$t_{pi \ 52"} = \frac{5.5 \times 132.08}{2 \times 1265 \times 0.66} + 0.25$	0.685 cm	$t_{pi \ 52"} =$ 0.953 cm (3/8")
	Ampliación de diámetros de 132.08 cm a 137.16 cm.	$t_{pi \ 52"-54"} = \frac{5.5 \times 0.5(132.08+137.16)}{2 \times 1265 \times 0.66} + 0.25$	0.693 cm	$t_{pi \ 52"-54"} =$ 0.953 cm (3/8")
	$D_2 = 137.16 \text{ cm (54")}$	$t_{pi \ 54"} = \frac{5.5 \times 137.16}{2 \times 1265 \times 0.66} + 0.25$	0.702 cm	$t_{pi \ 54"} =$ 0.953 cm (3/8")
	$D_3 = 106.68 \text{ cm (42")}$	$t_{pi \ 42"} = \frac{5.5 \times 106.68}{2 \times 1265 \times 0.66} + 0.25$	0.601 cm	$t_{pi \ 52"} =$ 0.953 cm (3/8")

b) Espesor mínimo por manejo (t_{manejo})

El espesor mínimo por manejo (t_{manejo}) para tuberías de hasta 54" de diámetro se obtiene con la siguiente expresión (AWWA 2004):

$$t_{\text{manejo}} = \frac{D}{288}$$

Dónde:

t_{manejo} = espesor de la tubería en pulgadas.

D = diámetro nominal de la tubería en pulgadas.

En el cuadro 2 se obtiene, para cada diámetro de tubería, el espesor mínimo por manejo requerido y el comercial correspondiente.

CUADRO 2. ESPEORES MÍNIMOS POR MANEJO			
Diámetro nominal de tuberías	Sustituyendo los datos $t_{manejo} = \frac{D}{288}$	Espesor obtenido t_{manejo}	Espesor comercial superior más cercano
D ₁ = 52"	$t_{manejo\ 52"} = \frac{52}{288}$	0.1806"	$t_{manejo\ 52"} = 0.375" = 3/8"$
D ₂ = 54"	$t_{manejo\ 54"} = \frac{54}{288}$	0.1875"	$t_{manejo\ 54"} = 0.375" = 3/8"$
D ₃ = 42"	$t_{manejo\ 42"} = \frac{42}{288}$	0.1458"	$t_{manejo\ 42"} = 0.375" = 3/8"$

c) Espesor mínimo por alta velocidad y vibraciones en la tubería (t_{av}).

El espesor mínimo para una toma expuesta a alta velocidad y vibraciones (t_{av}) se calcula con la siguiente expresión (SRH 1960):

$$t_{av} = 0.0077r + 0.31$$

Dónde

t_{av} = espesor de la tubería en cm

r = radio del tubo en cm

En el cuadro 3 se obtiene, para cada diámetro de tubería, el espesor mínimo requerido por alta velocidad y vibración.

CUADRO 3. ESPEORES MÍNIMOS POR MANEJO			
Diámetro nominal de tuberías	Sustituyendo los datos $t_{manejo} = 0.0077r + 0.31$	Espesor obtenido t_{manejo}	Espesor comercial superior más cercano
D ₁ = 52"	$t_{av\ 52"} = 0.0077 \times 66.04 + 0.31$	0.819 cm	$t_{av\ 52"} = 0.953\ cm\ (3/8")$
D ₂ = 54"	$t_{av\ 54"} = 0.0077 \times 68.58 + 0.31$	0.838 cm	$t_{av\ 54"} = 0.953\ cm\ (3/8")$
D ₃ = 42"	$t_{av\ 42"} = 0.0077 \times 53.34 + 0.31$	0.721cm	$t_{av\ 42"} = 0.953\ cm\ (3/8")$

d) Espesor mínimo por presión externa (t_{pc})

El espesor mínimo por presión externa se calcula con formula de la presión crítica de colapso en tuberías de acero (AWWA 2004), indicada a continuación:

$$P_c = 346\ 116\ 801 \left(\frac{t}{d_n} \right)^3$$

Dónde:

P_c = presión crítica de colapso en kPa

t = espesor de la tubería en mm

d_n = diámetro de tubería mm

La presión crítica de colapso es la resistencia máxima al colapso de una tubería de acero debido a fuerzas externas (atmosféricas o de ambientes líquidos), que actúan en forma radial y uniforme sobre ella.

La tubería de la obra de toma en condiciones de operación normal trabaja a tubo lleno con presión interna debida a la carga del embalse, por tal condición no será considerado un colapso por presión atmosférica. La presión máxima externa sobre la tubería es la que ejerce el concreto cuando es compactado sobre la tubería durante el proceso constructivo, el valor de la presión externa a considerar es de 4 kg/cm², un valor conservador utilizados en proyectos de la SRH, SARH y CONAGUA.

En el cuadro 4 se obtiene el espesor mínimo para las secciones que estarán embebidas en concreto, tomando la fórmula de presión crítica de colapso. Las secciones pueden visualizarse en la figura A-5 del anexo.

CUADRO 4. ESPEORES POR PRESIÓN EXTERNA				
Sección	Datos	De la fórmula se despeja el espesor mínimo (t_{pc}) $t_{pc} = d_n \sqrt[3]{\frac{P_c}{346116801}}$	Espesor obtenido t_{pc}	Espesor comercial superior más cercano
Sección 1	$d_n=D_1 = 1320.8$ mm $P_c = 4$ kg/cm ² $= 392.27$ kPa	$t_{pc\ 52"} = 1320.8 \sqrt[3]{\frac{392.27}{346116801}}$	$t_{pc\ 52"} = 13.8$ mm	$t_{pc\ 52"} = 14.3$ mm (9.16")
Sección 2	$d_n=D_2 = 1371.6$ mm $P_c = 4$ kg/cm ² $= 392.27$ kPa	$t_{pc\ 54"} = 1371.6 \sqrt[3]{\frac{392.27}{346116801}}$	$t_{pc\ 54"} = 14.3$ mm	$t_{pc\ 54"} = 15.9$ mm (5/8")

En el cuadro 4 a se observa que el espesor requerido de las tuberías es mayor que el de 9.5 mm (3/8") obtenido en cálculos anteriores.

Para evitar incrementar el espesor de las tuberías y acrecentar su costo, propuse instalar anillos de refuerzo a lo largo de la tubería y con ello proporcionarle la resistencia necesaria a la tubería que se encuentra

sometida a la presión exterior (sólo la tubería embebida en el concreto), además de lo anterior estos anillos le suministrarán anclaje a la tubería con el concreto.

e) Cálculo de los anillos de refuerzo

En este inciso se obtiene la separación y dimensiones de los anillos de refuerzo adecuadas para suministrar la rigidez necesaria a la tubería y ésta, con un espesor mínimo, soporte la presión externa.

En el presente proyecto consideré el espesor de 0.953 cm (3/8"), debido a que es el obtenido en los cálculos expuestos anteriormente y es el espesor mínimo comercial de las tuberías de las secciones 1 y 2 de la obra de toma ver en el Anexo figura A-5.

La distancia entre anillos se obtiene con la fórmula de la presión crítica de colapso (P_c) para tuberías de acero con anillos de refuerzo (USBR 1980).

$$P_c = \frac{5.1 \times 10^8 (t/D)^{2.5}}{(L_s/D)}$$

Dónde:

P_c = presión crítica de colapso en kPa

t = espesor del tubo en mm

D = diámetro del tubo mm

L_s = distancia entre anillos de refuerzo en mm

La distancia entre anillos se obtiene en el cuadro 5, utilizando la fórmula indicada se despeja la distancia entre anillos y se sustituye la presión de colapso por la presión externa de diseño (4 kg/cm²) por un factor de seguridad de 2.

CUADRO 5. DISTANCIA ENTRE ANILLOS DE REFUERZO			
Sección de la obra de toma (ver Anexo figura A-5)	Datos	Sustituyendo datos en la expresión: $L_S = \frac{D \cdot 5.1 \times 10^8 (t/D)^{2.5}}{P_c}$	Distancia máxima entre anillos de refuerzo L_S
Sección 1	D ₁ = 1320.8 mm t = 9.53 mm P _c = 2 x 4 kg/cm ² = 785 kPa	$L_S = \frac{1320.8 \times 5.1 \times 10^8 (9.53/1320.8)^{2.5}}{785}$	$L_S = 3795 \text{ mm}$
Sección 2	D ₂ = 1371.6 mm t = 9.53 mm P _c = 2 x 4 kg/cm ² = 785 kPa	$L_S = \frac{1371.6 \times 5.1 \times 10^8 (9.53/1371.6)^{2.5}}{785}$	$L_S = 3586 \text{ mm}$

Los anillos además de proporcionar rigidez a la tubería, les serán instalas anclas para darle soporte a la misma durante las maniobras de instalación, soldadura y con ellas se evite la flotación de la tubería durante el embebido de concreto, en virtud de ello la distancia entre los anillos deberá permitir obtener un soporte y anclaje adecuado a cada tramo de tubería.

De acuerdo a lo anterior en la sección 1 de la obra de toma, que se compone de tramos de tubería de 6.10 m de longitud, propongo que se instalen tres anillos de refuerzo por tramo con una distancia (L) entre anillos de 203.3 cm y en cada anillo un par de anclas de fijación.

En la tubería de la sección 2 de la obra de toma únicamente se instalará un anillo con un par de anclas, las dimensiones del anillo serán las mismas que las de la sección 1.

Las dimensiones de los anillos de refuerzo se obtienen del momento de inercia mínimo requerido por la sección transversal del anillo sometido a presión externa con la siguiente expresión (ASCE 2012).

$$I \geq \frac{PLD_0^3}{77,300,000(N^2 - 1)}$$

Dónde:

I = Es el momento de inercia del anillo de refuerzo compuesto con la sección de la pared de la tubería que se toma como contribuyente en pulg⁴. La longitud de tramo de tubería contribuyente no debe exceder $1.1(D_0 t)^{1/2}$.

P = Presión exterior en psi

$$P = 4 \frac{kg}{cm^2} \times 14.22 \frac{psi}{\frac{kg}{cm^2}} = 56.88 \text{ psi}$$

L = Espacio entre los anillos en pulgadas

$$L = \frac{203.3 \text{ cm}}{2.54 \frac{cm}{pulg}} = 80 \text{ pulgadas}$$

D₀ = Diámetro exterior del tubo en pulgadas = 52"

N = Número de ondas en las que el anillo tenderá a abollarse

$$N^2 = \frac{0.663}{\left(\frac{H}{D_0}\right) \left(\frac{t}{D_0}\right)^{0.5}} \leq 100;$$

H = distancia entre anillos de los extremos en pulg. = 160"

t = espesor de placa del tubo en pulg. = 0.375"

Se obtiene N²

$$N^2 = \frac{0.663}{\left(\frac{160}{52}\right) \left(\frac{0.375}{52}\right)^{0.5}} = 2.53; \quad N = \sqrt{2.53} = 1.59 \approx 2$$

Por seguridad se tomará el valor de N=2

$$\therefore N^2 = 4$$

Sustituyendo los valores en la se obtiene el momento de inercia mínimo requerido

$$I_{req} = \frac{56.88 \times 80 \times 52^3}{77,300,000 (4 - 1)} = 2.76 \text{ in}^4 \times \frac{(2.54 \text{ cm})^4}{\text{in}^4} = 114.84 \text{ cm}^4$$

Se proponen anillos de refuerzo fabricados con placa de acero de 1.11 cm (7/16") de espesor y 7.62 cm (3") de altura. La sección del anillo compuesto, incluyendo la porción de la tubería se muestra en la figura 14.

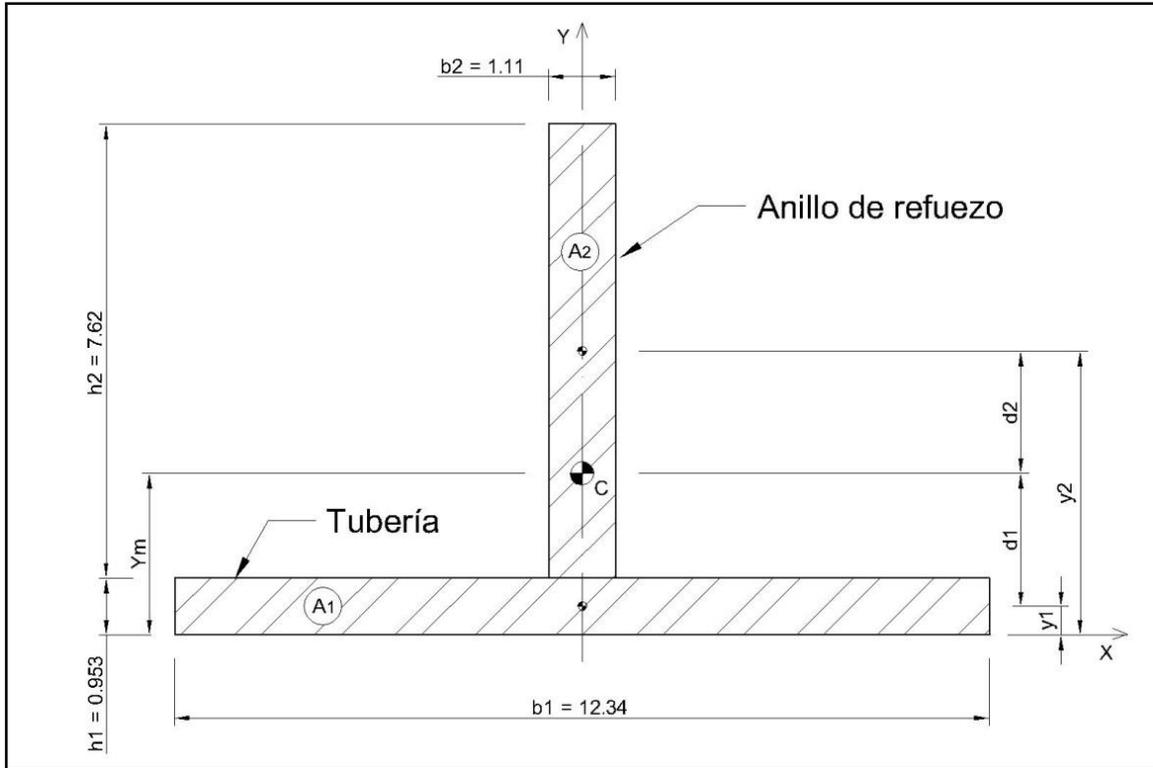


Figura 14. Sección compuesta del anillo de refuerzo y porción contribuyente de la tubería, acotaciones en cm.

Se obtiene el momento de inercia respectivo para comprobar que las dimensiones son adecuadas.

Pieza	Áreas (A_i)	Y_i	$A_i Y_i$	d_i	d_i^2	$A_i d_i^2$	$I_0 = \frac{bh^3}{12}$
1	11.76	0.477	5.604	1.793	3.216	37.817	0.890
2	8.458	4.763	40.286	2.493	6.216	52.579	40.927
SUMA	20.218		45.89			90.396	41.817

$$Y_m = A Y_i / A_i = 2.270 \text{ cm} = (A \times Y_i) / A_i = 2.270 \text{ cm}$$

$$I_{tot} = A d^2 + I_0 = 90.396 + 41.817 = 132.213 \text{ cm}^4$$

$$\therefore I_{req} < I_{tot}$$

Se comprueba que las dimensiones del anillo propuestas son aceptables.

3.6.4 CÁLCULO DE ESFUERZOS COMBINADOS EN LA TUBERÍA

Los esfuerzos combinados se calculan en distintos puntos críticos de la tubería, estos puntos se eligen con base en las condiciones de trabajo particulares a las que se someta cada uno durante la operación.

Los esfuerzos combinados se calculan bajo los criterios que marcan los manuales de la extinta SRH, SARH y CONAGUA.

En el presente proyecto los puntos de interés donde serán calculados los esfuerzos combinados se indican en la figura 15.

Por convención se toman los esfuerzos longitudinales en la dirección del eje "x" y los esfuerzos transversales en la dirección del eje "y".

Las notaciones a utilizar son:

t = espesor del tubo menos sobreespesor por corrosión en cm = 0.703 cm

P = presión interior máxima en $\text{kg/cm}^2 = 5.5 \text{ kg/cm}^2$

r = radio de la tubería en cm

$\sigma_{adm} = 0.5\sigma_y = 1265 \text{ kg/cm}^2$ (Acero ASTM A36)

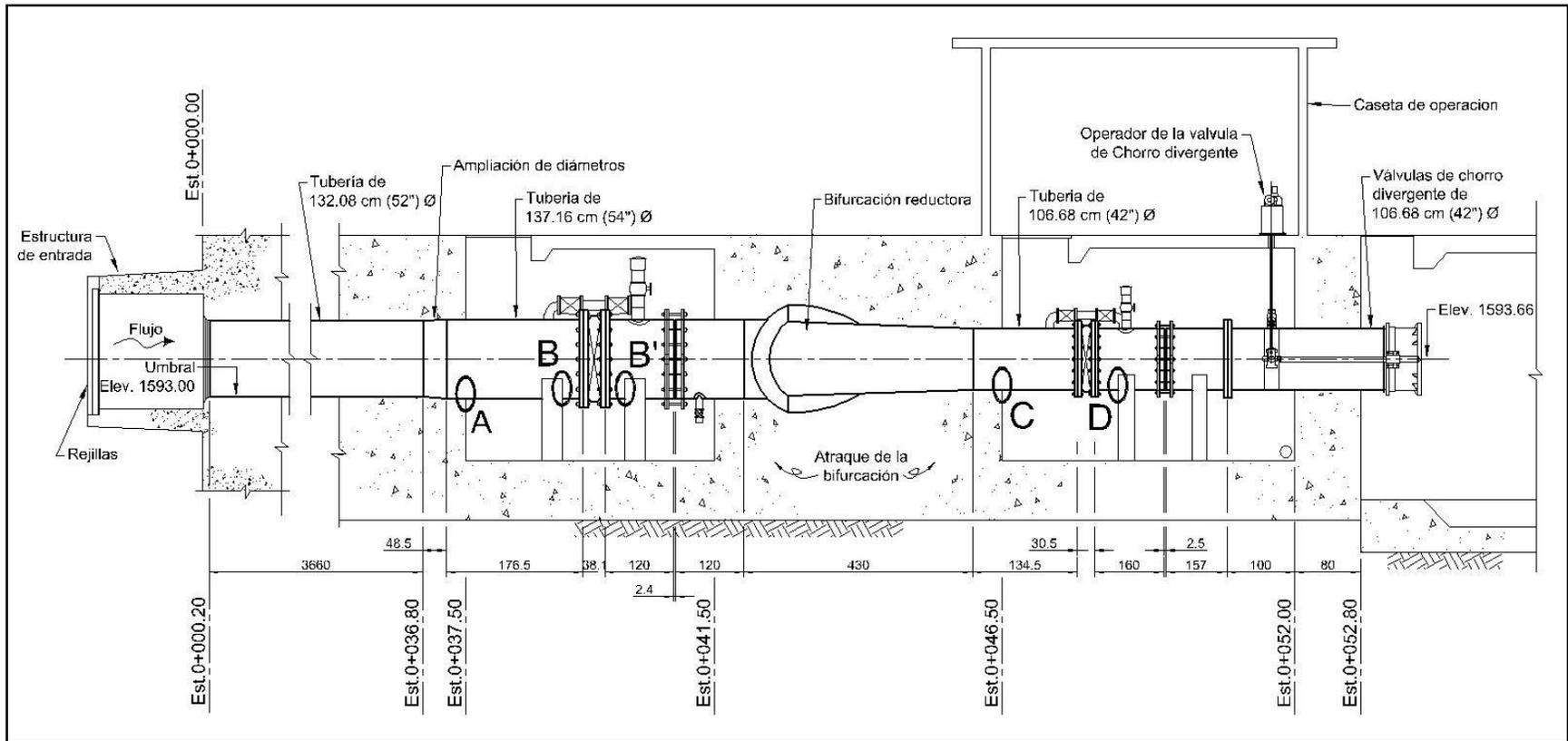


Figura 15. Puntos de la tubería donde se calculan los esfuerzos combinados, acotaciones en cm, estaciones y elevaciones en m.

a) Esfuerzos de la tubería en el punto A (σ_A)

- Esfuerzo por variación de temperatura ($\sigma_{\Delta tx}$).

$$\sigma_{\Delta tx} = \pm 24 \Delta T$$

ΔT = variación de temperatura en °C = 15 °C

$$\sigma_{\Delta tx} = \pm 24 \times 15 = 360 \text{ kg/cm}^2$$

- Esfuerzo de tensión debido al cierre de la válvula tipo mariposa de emergencia (σ_{5x}).

$$\sigma_{5x} = \pm \frac{Pr}{2t}$$

$r = 68.58 \text{ cm}$

$$\sigma_{5x} = \pm \frac{5.5 \times 68.58}{2 \times 0.703} = 268.27 \text{ kg/cm}^2$$

- Esfuerzo de restricción longitudinal a la salida de la tubería del embebido de concreto (σ_{8x}).

$$\sigma_{8x} = \pm \frac{1.82Pr}{t}$$

$$\sigma_{8x} = \pm \frac{1.82 \times 5.5 \times 68.58}{0.703} = 976.51 \text{ kg/cm}^2$$

Se suman los esfuerzos longitudinales resultantes

$$\sigma_{Ax} = \sigma_{\Delta tx} + \sigma_{5x} + \sigma_{8x}$$

$$\sigma_{Ax} = 360 + 268.27 + 976.51 = 1604.78 \text{ kg/cm}^2$$

- Esfuerzo transversal a la salida de la tubería del embebido de concreto (σ_{Ay}).

$$\sigma_{Ay} = \frac{Pr}{t}$$

$$\sigma_{Ay} = \frac{5.5 \times 68.58}{0.703} = 536.54 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzos combinados en el punto A, utilizando el criterio de St. Venant Guest, se obtiene de la siguiente manera:

$$\sigma_{Acombinado} = \sigma_{mayor} - 0.303\sigma_{menor} = \sigma_{Ax} - 0.303\sigma_{Ay} = 1442.21 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{Acombinado} = \frac{\sigma_{mayor} - \sigma_{menor}}{1.2} = \frac{\sigma_{Ax} - \sigma_{Ay}}{1.2} = 890.2 \text{ kg/cm}^2$$

Se toma el valor máximo de lo obtenidos, observando que:

$$\sigma_{Acombinado} > \sigma_{adm}$$

Por lo tanto se incrementa el espesor en los tramos de tubería de 137.16 cm (54") de diámetro y la ampliación de diámetros (secciones 2 y 3) al inmediato superior, que corresponde a 12.7 mm (1/2").

$$t = 1.27 - 0.25 = 1.02 \text{ cm}$$

Y se verifican nuevamente el esfuerzo combinado en el punto A.

- Esfuerzo por variación de temperatura ($\sigma_{\Delta tx}$).

$$\sigma_{\Delta tx} = \pm 24 \Delta T = \pm 24 \times 15 = 360 \text{ kg/cm}^2$$

- Esfuerzo de tensión debido al cierre de la válvula de mariposa (σ_{5x}).

$$\sigma_{5x} = \pm \frac{Pr}{2t} = \pm \frac{5.5 \times 68.58}{2 \times 1.02} = 184.90 \text{ kg/cm}^2$$

- Esfuerzo de restricción longitudinal a la salida de la tubería del embebido de concreto (σ_{8x}).

$$\sigma_{8x} = \pm \frac{1.82Pr}{t} = \pm \frac{1.82 \times 5.5 \times 68.58}{1.02} = 673.03 \text{ kg/cm}^2$$

Se suman los esfuerzos longitudinales resultantes

$$\sigma_{Ax} = \sigma_{\Delta tx} + \sigma_{5x} + \sigma_{8x}$$

$$\sigma_{Ax} = 360 + 184.90 + 673.03 = 1217.93 \text{ kg/cm}^2$$

- Esfuerzo transversal a la salida de la tubería del embebido de concreto (σ_{Ay}).

$$\sigma_{Ay} = \frac{Pr}{t}$$

$$\sigma_{Ay} = \frac{5.5 \times 68.58}{1.02} = 369.79 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzos combinados en el punto A, utilizando el criterio de st. Venant Guest, se obtiene de la siguiente manera:

$$\sigma_{Acombinado} = \sigma_{mayor} - 0.303\sigma_{menor} = \sigma_{Ax} - 0.303\sigma_{Ay} = 1105.88 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{Acombinado} = \frac{\sigma_{mayor} - \sigma_{menor}}{1.2} = \frac{\sigma_{Ax} - \sigma_{Ay}}{1.2} = 706.78 \text{ kg/cm}^2$$

Se toma el valor máximo y se observa que:

$$\sigma_{Acombinado} < \sigma_{adm}$$

Por lo tanto el espesor propuesto de 12.7 mm (1/2") es aceptable para el punto A.

b) Esfuerzo de la tubería en la zona de los apoyos (punto B y B')

Los esfuerzos críticos se producen principalmente por las aristas de los apoyos cuando la tubería se encuentra llena y sin presión interior, además si existe un esfuerzo longitudinal actuando sobre la tubería en esos puntos se tendrá que adicionar y combinar. El esfuerzo obtenido deberá ser menor al esfuerzo admisible del material ($\sigma_{adm}=1265 \text{ kg/cm}^2$).

El esfuerzo debido a los apoyos (σ_{sc}) se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{sc} = k \frac{P}{t^2} \log_e \left(\frac{R}{t} \right)$$

Dónde:

$k = 0.02-0.00012$ (factor por ángulo de contacto)

$A = \text{ángulo de contacto en grados} = 120^\circ$; $k = 0.0164$ (CONAGUA 2007)

$P = \text{reacción total en la silleta en lb}$

$P = 5000 \text{ kg} \times 2.2 \text{ lb/kg} = 11000 \text{ lb}$

$R = \text{radio de la tubería en pulgadas} = 27''$

$t = \text{espesor de trabajo en pulgadas (no se contempla sobreespesor)} = 0.4''$

Sustituyendo los datos obtenemos σ_{sc} , para los puntos B y B':

$$\sigma_{sc} = 0.0164 \times \frac{11000}{0.4^2} \log_e \left(\frac{27}{0.4} \right) = 4749.2 \text{ psi} \times \frac{1 \text{ kg/cm}^2}{14.22 \text{ psi}} = 333.98 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{sc} < \sigma_{adm}$$

Cuando se encuentra cerrada la válvula de emergencia se encuentra cerrada se provoca sobre la tubería que esta sobre el punto B un esfuerzo longitudinal por "tapa ciega", por lo que se deberá determinar si el espesor en este punto podrá soportar el la combinación de esfuerzos.

El esfuerzo equivalente (σ_e) en el punto B cuando la válvula de emergencia se encuentra cerrada se determina mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_e = (\sigma_{cs}^2 + \sigma_{ls}^2 - \sigma_{cs}\sigma_{ls})^{1/2}$$

Dónde:

σ_{cs} = se obtuvo para cada uno de los apoyos B y B' = 333.98 kg/cm².

σ_{ls} = se obtuvo en el inciso a) del cálculo de esfuerzos combinados σ_{5x}

$\sigma_{5x} = \sigma_{ls} = 184.897$ kg/cm².

Sustituyendo

$$\sigma_e = (333.98^2 + 184.897^2 - (333.98 \times 184.897))^{1/2} = 289.79 \text{ kg/cm}^2$$

De acuerdo al resultado obtenido se observa que los esfuerzos obtenidos en los Puntos B y B', tienen un valor por debajo del esfuerzo admisible del material, por lo tanto se considera correcto el espesor de 12.7 mm (1/2") de la tubería.

c) Esfuerzos de la tubería a la salida del atraque de concreto (punto C).

- Esfuerzo por variación de temperatura ($\sigma_{\Delta tx}$).

$$\sigma_{\Delta tx} = \pm 24 \Delta T = \pm 24 \times 15$$

ΔT = variación de temperatura en °C = 15 °C

$$\sigma_{\Delta tx} = 360 \text{ kg/cm}^2$$

- Esfuerzo de tensión debido al cierre de la válvula de mariposa (σ_{5x}).

$$\sigma_{5x} = \pm \frac{Pr}{2t}$$

r = 53.34 cm

$$\sigma_{5x} = \pm \frac{5.5 \times 53.34}{2 \times 0.703} = 208.66 \text{ kg/cm}^2$$

- Esfuerzo de restricción longitudinal a la salida de la tubería del embebido de concreto (σ_{8x}).

$$\sigma_{8x} = \pm \frac{1.82Pr}{t}$$

$$\sigma_{8x} = \pm \frac{1.82 \times 5.5 \times 53.34}{0.703} = 759.51 \text{ kg/cm}^2$$

Se suman los esfuerzos longitudinales resultantes

$$\sigma_{Cx} = \sigma_{\Delta tx} + \sigma_{5x} + \sigma_{8x}$$

$$\sigma_{Cx} = 360 + 208.66 + 759.51 = 1328.17 \text{ kg/cm}^2$$

- Esfuerzo transversal a la salida de la tubería del embebido de concreto (σ_{Cy}).

$$\sigma_{Cy} = \frac{Pr}{t}$$

$$\sigma_{Cy} = \frac{5.5 \times 53.34}{0.703} = 417.31 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzos combinados en el punto C, utilizando el criterio de St. Venant Guest, se obtiene de la siguiente manera:

$$\sigma_{Ccombinado} = \sigma_{mayor} - 0.303\sigma_{menor} = \sigma_{Cx} - 0.303\sigma_{Cy} = 1201.72 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{Ccombinado} = \frac{\sigma_{mayor} - \sigma_{menor}}{1.2} = \frac{\sigma_{Cx} - \sigma_{Cy}}{1.2} = 759.05 \text{ kg/cm}^2$$

Se toma el valor máximo y se observa que:

$$\sigma_{Ccombinado} < \sigma_{adm}$$

Por lo tanto el espesor de 9.53 mm (3/8") es adecuado para ser instalado en la salida del atraque de concreto, aguas abajo de la bifurcación compuesta.

d) Esfuerzo de la tubería en la zona del apoyo (punto D)

Los esfuerzos críticos se producen principalmente por las aristas del apoyo debido al peso de la válvula, tubería y accesorios. No se consideran esfuerzos longitudinales debido a que la válvula de emergencia se

encuentra aguas arriba del apoyo (Punto D). El esfuerzo admisible del material es $\sigma_{adm}=1265 \text{ kg/cm}^2$.

El esfuerzo debido a los apoyos (σ_{sc}) se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{sc} = k \frac{P}{t^2} \log_e \left(\frac{R}{t} \right)$$

Dónde:

$k = 0.02-0.00012(A-90)$ (factor por ángulo de contacto)

$A = \text{ángulo de contacto en grados} = 120^\circ$; $k = 0.0164$ (CONAGUA 2007)

$P = \text{reacción total en la silleta en lb}$

$P = 2186 \text{ kg} \times 2.2 \text{ lb/kg} = 4818 \text{ lb}$

$R = \text{radio de la tubería en pulgadas} = 21''$

$t = \text{espesor de trabajo en pulgadas (no se contempla sobre-espesor)} = 0.28''$

Sustituyendo los datos obtenemos σ_{sc} , para los puntos B y B':

$$\sigma_{sc} = 0.0164 \times \frac{4818}{0.28^2} \log_e \left(\frac{21}{0.28} \right) = 4351.4 \text{ psi} \times \frac{1 \text{ kg/cm}^2}{14.22 \text{ psi}} = 306 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{sc} < \sigma_{adm}$$

De acuerdo a los resultados obtenidos el espesor de 0.953 cm (3/8") es adecuado para soportar los esfuerzos provocados en los apoyos de la tubería de 1066.8 mm (42") de diámetro.

3.6.5 DISEÑO DE LA BIFURCACIÓN REDUCTORA DE DIÁMETROS

En esta sección determino el espesor de las tuberías que componen la bifurcación reductora, obtengo la geometría y dimensiones para llevar a cabo su fabricación. Los refuerzos de la bifurcación no son parte de este informe de actividades. Para llevar a cabo el diseño tomo como base las dimensiones generales que se obtuvieron en el diseño geométrico de la obra de toma.

3.6.5.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

El material para fabricar la bifurcación reductora será placa de acero clasificación ASTM A36.

La bifurcación de tramos rectos será fabricada con tubería de acero de 137.16 cm (54") de diámetro, los codos reductores se fabricaran con placas de acero roladas que formaran gajos reductores y así obtener la reducción de diámetros de 137.16 (54") a 106.68 (42"), respetando el radio de curvatura proyectada.

El espesor de las placas de acero con la que se fabricará la bifurcación compuesta deberá seleccionarse para soportar las presiones que se provocan durante la instalación y operación de la obra de toma.

El diseño geométrico de la bifurcación y codos reductores se basa en lo dispuesto por la normatividad de la extinta SRH, CONAGUA y AWWA. Se retoman las dimensiones obtenidas en el diseño geométrico general de la obra de toma, ver figura 13. La precisión máxima de las dimensiones será de 0.1 mm.

3.6.5.2 CÁLCULO DE ESPESORES

a) Espesor de placa en la bifurcación de tramos rectos para soportar la presión interna.

El espesor de la tubería capaz de soportar la presión interna, se obtiene con la siguiente expresión:

$$t_{pi} = \frac{P_{int} D}{2 S \eta} + c$$

Dónde:

P_{int} = Presión interna máxima en $\text{kg/cm}^2 = 5.5 \text{ kg/cm}^2$

D = Diámetro en $\text{cm} = 137.16 \text{ cm}$

S = Esfuerzo admisible del material en $\text{kg/cm}^2 = 1265 \text{ kg/cm}^2$

η = eficiencia de las juntas soldadas = 66% (CONAGUA 2007)

c = Sobre espesor por corrosión en $\text{cm} = 0.25 \text{ cm}$ (CONAGUA 2007)

Sustituyendo

$$t_{pi} = \frac{5.5 \times 137.16}{2 \times 1265 \times 0.66} + 0.25 = 0.702 \text{ cm}$$

El espesor comercial superior es de 0.953 cm (3/8"), por lo tanto se considera éste el correcto para la fabricación de la bifurcación.

Las uniones de las tuberías que forman la bifurcación deberán llevar refuerzos, los cuales no se incluyen en este trabajo.

b) Espesor de placa en codos reductores para soportar la presión interna.

Para la fabricación de los codos reductores se propone el espesor de placa de 0.953 cm (3/8"), siendo ésta del mismo espesor que se fabricará la bifurcación de tramos rectos.

Con el espesor propuesto se calcula la presión interna máxima que podrá soportar un codo de gajos múltiples, mediante la siguiente expresión (CONAGUA 2007):

$$P_m = \frac{S E (T - c)}{r} \left(\frac{R - r}{R - 0.5r} \right)$$

Dónde:

P_m = Presión interna máxima que soporta el codo en kg/cm²

E = factor de calidad de soldadura = 0.66

R = Radio efectivo (curvatura) en cm = 420 cm

S = Esfuerzo admisible del material en kg/cm² = 1265 kg/cm²

T = espesor nominal de pared en cm = 0.953 cm

c = Sobre espesor por corrosión en cm = 0.25 cm

D = Diámetro en cm (se toma el diámetro mayor) = 137.16 cm

r = 0.5 (D-T) = 68.1 cm

Sustituyendo, obtenemos P_m

$$P_m = \frac{0.66 \times 1265 \times (0.953 - 0.25)}{68.1} \left(\frac{420 - 68.1}{420 - (0.5 \times 68.1)} \right) = 7.858 \text{ kg/cm}^2$$

La presión máxima que se genera dentro de la tubería es de 5.5 kg/cm², por lo tanto el espesor propuesto de 9.53 mm (3/8") es adecuado para fabricar los codos reductores.

c) Espesor mínimo de placas en la bifurcación y codos reductores para soportar la presión externa (presión externa durante el colado del atraque de concreto).

La presión externa máxima sobre la tubería se presenta cuando se lleva a cabo el colado del atraque de concreto, en el cual la tubería queda embebida.

A continuación se determina la presión externa durante el colado ($P_{ext \text{ col}}$), con una profundidad de 3 m.

$$P_{ext \text{ col}} = \rho gh$$

Dónde:

$P_{ext \text{ col}}$ = presión externa en Pa

ρ = densidad del concreto en kg/m³ = 2400 kg/m³

g = 9.81 m/s²

h = 3.0 m

Sustituyendo:

$$P_{ext \text{ col}} = 2400 \times 9.81 \times 3 = 70632 \text{ Pa}$$

La presión crítica de colapso es la resistencia máxima al colapso de una tubería de acero debido a fuerzas externas (atmosféricas o de ambientes líquidos), que actúan en forma radial y uniforme sobre ella y se obtiene de la siguiente ecuación (AWWA 2004):

$$P_c = 346116801 \left(\frac{t}{d_n} \right)^3$$

Dónde:

P_c = presión crítica de colapso en kPa

t = espesor en mm

d_n = diámetro del tubo mm

Debido a que la presión externa es conocida, de la formula se despejará el espesor, y serán sustituidos los valores de presión externa y los diámetros mayor y menor de la tubería.

Se sabe que:

Presión externa = 70.632 kPa

En el cuadro 6 se obtiene el espesor mínimo necesario (t_{col}), para el diámetro mayor y menor, debido a la presión externa producido por el colado de concreto sobre las tuberías.

CUADRO 6. ESPESOR MÍNIMO NECESARIO POR PRESIÓN EXTERNA			
Diámetros	De la fórmula se obtiene el espesor mínimo (t_{col}) $t_{col} = d_n \sqrt[3]{\frac{P_e}{346116801}}$	Espesor mínimo necesario (t_{col})	Comparación con el espesor propuesto de 9.53 mm (3/8")
1371.6 mm	$t_{col\ 54"} = 1371.6 \sqrt[3]{\frac{70.632}{346116801}}$	$t_{col\ 54"} = 8.08\ mm$	Menor al propuesto.
1066.8 mm	$t_{col\ 42"} = 1066.8 \sqrt[3]{\frac{70.632}{346116801}}$	$t_{col\ 42"} = 6.28\ mm$	Menor al propuesto.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los cálculos realizados para determinar el espesor, se da por aceptado que el espesor de placa de 0.953 cm (3/8") es adecuado para la fabricación de la bifurcación y codos reductores.

Se instalan anillos con anclas en los codos reductores para evitar la flotación durante el embebido de concreto.

3.6.5.3 GEOMETRÍA PARA LA FABRICACIÓN DE LA BIFURCACIÓN REDUCTORA

a) Bifurcación de tramos rectos

Las dimensiones de la bifurcación de tramos rectos fueron obtenidas anteriormente en el diseño geométrico general de la obra de toma, sin embargo para la fabricación se utilizan las dimensiones de diámetros interiores de las tuberías.

b) Codos reductores

Las dimensiones de los codos reductores se obtendrán con lo dispuesto en la normatividad de la extinta SRH y la AWWA, ver figura A-6 del Anexo. Cabe mencionar que utilizando el procedimiento de líneas tangentes a dos circunferencias de diferentes es posible generar la geometría del codo reductor.

Se proponen cinco deflexiones, con lo que da mayor suavidad a los cambios de dirección.

Datos de entrada necesarios:

Δ = ángulo de intersección =	37.5°
R = Radio del codo =	4200 mm
n = 2 x (número de deflexiones) = 2 x 5 =	10
D ₁ = diámetro interior mayor = 1371.6 – (2 x 9.5) =	1352.6 mm
D ₁₀ = diámetro interior menor = 1066.8 – (2 x 9.5) =	1047.8 mm
ρ = Δ/n = 37.5°/10 =	3.75°
r ₁ = D ₁ /2 =	676.3 mm
r _n = D _n /2 =	523.9 mm

Ángulo de reducción (θ).

$$\text{sen } \theta = \frac{D_1 - D_n}{2(n-2)R(\tan \rho)} = \frac{1352.6 - 1047.8}{2(10-2)(4200)(\tan 3.75^\circ)} = 0.0692 ; \theta = 3.97^\circ$$

Desfasamientos entre líneas de unión de gajos y el ponto central para los radios de referencia.

$$Z_1 = \frac{r_1 \text{sen } \theta}{\cos 2\rho + \cos \theta} = 23.5 \text{ mm}$$

$$Z_{10} = \frac{r_{10} \text{sen } \theta}{\cos 2\rho + \cos \theta} = 18.2 \text{ mm}$$

$$\tan \phi = \frac{\text{sen } 2\rho}{\cos 2\rho + \cos \theta} = 0.0656225$$

$$\phi = 3.75^\circ$$

$$T = R \tan \Delta/2 = 1425.7 \text{ mm}$$

En el cuadro 7 se muestran los valores obtenidos en el cálculo de los diámetros, radios y desfases entre la línea de unión de gajos y el centro de los radios de referencia.

CUADRO 7. VALORES PARA LA GEOMETRÍA DEL CODO REDUCTOR					
DIÁMETROS		RADIOS		DESFASEAMIENTOS INTERMEDIOS	
D_x	$= \frac{D_1 - (x-1)R \tan \rho \sin \theta}{\cos \theta}$	r_x	$= r_1 - (x-1)R \tan \rho \sin \theta$	Y_x	$= r_x \sin \theta / \cos \rho$
D_2	1317.7 mm	r_1	676.3 mm	Y_3	44.3 mm
D_4	1241.3 mm	r_3	638.2 mm	Y_5	41.6 mm
D_6	1164.9 mm	r_5	600.1 mm	Y_7	39.0 mm
D_8	1188.5 mm	r_7	562.0 mm		
		r_9	523.9 mm		

Con los resultados obtenidos de los incisos anteriores es posible realizar el plano geométrico para la fabricación de la bifurcación reductora.

3.7 INTERPRETACION DE RESULTADOS DE TRABAJO

Con los resultados obtenidos en el presente trabajo es posible determinar las características y planos de instalación (ver anexo) de los elementos que conforman la obra de toma; rejillas, tuberías y válvulas de control.

La estructura de entrada de la obra de toma cuenta con tres vanos de 2.20 m de altura por 1.70 m de ancho, en los cuales se instalarán tres rejillas cuyas medidas serán de 2.30 m de alto por 1.70 m de ancho, el material de fabricación es acero estructural especificación ASTM A36. Las rejillas están conformadas por soleras centrales son de 13 mm x 102 mm (1/2" x 4") y las del marco de 22 mm x 102 mm (7/8" x 4"), con tres separadores fabricados con tubos de acero de 3/4" de diámetro nominal, cedula 40, unidos con pernos de 1/2" roscados en los extremos con tuercas, estos separadores estarán ubicados al centro con una distancia de 75 cm entre sí, ver plano de rejillas.

La tubería inicia en la estación 0+000.20 m del eje de la obra de toma y hasta la estación 0+036.80 m se instalará tubería fabricada con placa de acero clasificación ASTM A36 rolada y soldada longitudinalmente, el diámetro nominal de la tubería es de 1320.8 mm (52"), con espesor de 9.53 mm (3/8"). La tubería se suministrará en tramos de 6.10 m de longitud con ambos extremos biselados para llevar a cabo los trabajos de soldadura de campo, los tramos sumaran una longitud de 36.60 m, en cada tramo se instalarán tres anillos atiesadores soldados a lo largo del tubo con una distancia entre sí de 203.3 cm, ubicándolos al centro del tramo, adicionalmente se instalará un anillo de anclaje al inicio de la tubería en la estación 0+000.20 m, los anillos están fabricados con placa de acero clasificación ASTM A 36 de 11.1 mm (7/16") de espesor, con altura de 76.2 mm (3"). En cada anillo serán instaladas un par de anclas para evitar la flotación de la tubería durante el embebido de concreto y facilitar la nivelación de la tubería (no se incluye la selección de las anclas en este trabajo).

A partir de la estación 0+036.80 m del eje de la obra de toma se instalará una ampliación de diámetros de tubería de 1320.8 mm (52") a 1371.6 (54"), con ángulo de cono de 6° y longitud de 48.50 cm medido sobre el eje de la tubería. La ampliación será fabricada con placa de acero clasificación ASTM A36 rolada y soldada longitudinalmente, con espesor mínimo de 12.7 mm (1/2") y ambos extremos biselados para soldadura de campo.

Posterior a la ampliación de diámetros continua un tramo de tubería de 1371.6 mm (54") de diámetro nominal, fabricada con placa de acero clasificación ASTM A36 rolada y soldada longitudinalmente, espesor de 12.7 mm (1/2"), la longitud del tramo es de 176.5 cm, un extremo deberá ser biselado para soldadura de campo con la ampliación y el otro extremo será bridado para unir la válvula de emergencia tipo mariposa del mismo diámetro, la brida será fabricada con acero clasificación ASTM A36, clase 150 y sus dimensiones las rige la normatividad de la ASME B16.47. Adicionalmente se instalará un anillo fabricado con placa de acero clasificación ASTM A 36 de 11.1 mm (7/16") de espesor, con altura de 76.2 mm (3") con anclas para evitar la flotación de la tubería durante el embebido de concreto y facilitar la nivelación de la tubería (no se incluye la selección de las anclas en este trabajo).

Se instalará la válvula de emergencia tipo mariposa diseñada bajo la norma AWWA C-504, con disco de hierro dúctil clasificación ASTM A536 65-45-12, cuerpo corto fabricado en hierro gris clasificación ASTM A126 Gr B, con bridas clase 150 B, se incluye su operador manual y eléctrico. A la válvula de emergencia se le instalará en sus tramos de tubería adyacentes una tubería de rodeo by-pass para igualar presiones de 152.4 mm (6") de diámetro nominal con dos válvulas de control una de compuerta y otra tipo mariposa, las válvulas serán clase 150. Se incluye en el tramo de tubo, adyacente de aguas abajo de la válvula de emergencia, la inserción de una tubería para la instalación una válvula de admisión y expulsión de aire de 152.4 mm (6") de diámetro nominal, bridada clase 125, con cuerpo y tapa de hierro gris clasificación ASTM A126 Gr B y flotador de acero inoxidable ASTM A240.

Posterior a la válvula de emergencia continúan dos tramos de tubería de 1371.6 mm (54") de diámetro nominal, fabricada con placa de acero clasificación ASTM A36 rolada y soldada longitudinalmente, espesor de 12.7 mm (1/2"), los tramos son de 120 cm de longitud, uno de ellos con un extremo bridado para unir con la válvula de emergencia y el otro con preparación con un maquinado medio de 20 cm de longitud en la superficie para instalar un cople tipo Dresser, este cople tendrá capacidad para una presión de trabajo de 10.5 kg/cm² (150 psi) y unirá los dos tramos de tubería, su objetivo es permitir maniobras de desinstalación, el otro tramo de tubería llevara en su extremo aguas arriba la misma preparación

para instalar el cople y en su extremo aguas abajo un biselado para efectuar soldadura de campo.

Para efectos de drenar la tubería de aguas debajo de la válvula de emergencia se deberá insertar una tubería de drenaje con su respectiva válvula de control en la parte baja de la tubería que se ubica antes del atraque de concreto que contiene la bifurcación reductora.

La bifurcación reductora se instalara a partir de la estación 0+041.855, está conformada por una bifurcación recta y dos codos reductores el material de fabricación es placa de acero clasificación ASTM A36 rolada y soldada longitudinalmente con espesor de 9.53 mm (3/8"). La bifurcación recta se compone de tres tramos de tubería de 1371.6 mm (54") de diámetro nominal, el ángulo de abertura entre los ramales es de 75°, los codos reductores, tienen un diámetro a la entrada de 1371.6 (54") y 1066.8 (42") a la salida, se conformados por 5 deflexiones en gajos, con un radio de curvatura de 4200 mm. Para llevar a cabo maniobra de instalación, soldaduras de campo y embebido en el atraque de concreto se incluyen anillos circunferenciales con anclas, los anillos se fabricarán con placa de acero clasificación ASTM A 36 de 11.1 mm (7/16") de espesor, con altura de 76.2 mm (3"), el diseño y selección de las anclas no se incluyen en el presente trabajo. La bifurcación reductora se suministrará con extremos biselados para efectuar soldaduras de campo.

Los ramales de la bifurcación reductora se unirán con tramos de tubería de 1066.8 mm (42") de diámetro nominal, fabricada con placa de acero clasificación ASTM A36 rolada y soldada longitudinalmente, espesor de 9.53 mm (3/8"), la longitud de cada tramo es de 134.5 cm, con un extremo biselado para soldadura de campo con el ramal de la bifurcación reductora que le corresponda y el otro extremo será bridado para unir la válvula de mantenimiento tipo mariposa del mismo diámetro, la brida será fabricada con acero clasificación ASTM A36, clase 150 y sus dimensiones las rige la normatividad de la ASME B16.47. Adicionalmente se instalará un anillo fabricado con placa de acero clasificación ASTM A 36 de 11.1 mm (7/16") de espesor, con altura de 76.2 mm (3") con anclas para evitar la flotación de la tubería durante el embebido de concreto y facilitar la nivelación de la tubería.

Se instalará la válvula de mantenimiento tipo mariposa diseñada bajo la norma AWWA C-504, con disco de hierro dúctil clasificación ASTM A536 65-

45-12, cuerpo corto fabricado en hierro gris clasificación ASTM A126 Gr B, con bridas clase 150 B, se incluye su operador manual y eléctrico. A la válvula de emergencia se le instalará en sus tramos de tubería adyacentes una tubería de rodeo by-pass para igualar presiones de 101.6 mm (4") de diámetro nominal con dos válvulas de control una de compuerta y otra tipo mariposa, las válvulas serán clase 150. Se incluye en el tramo de tubo, adyacente de aguas abajo de la válvula de emergencia, la inserción de una tubería para la instalación una válvula de admisión y expulsión de aire de 101.6 mm (4") de diámetro nominal, bridada clase 125, con cuerpo y tapa de hierro gris clasificación ASTM A126 Gr B y flotador de acero inoxidable ASTM A240.

Aguas abajo de las válvulas de mantenimiento continúan en cada ramal dos tramos de tubería de 1066.8 mm (42") de diámetro nominal, fabricada con placa de acero clasificación ASTM A36 rolada y soldada longitudinalmente, espesor de 9.53 mm (3/8"), los tramos son de 160 cm de longitud, uno de ellos con un extremo bridado para unir con la válvula de mantenimiento y el otro con preparación con un maquinado medio de 20 cm de longitud en la superficie para instalar un cople tipo Dresser, este cople tendrá capacidad para una presión de trabajo de 10.5 kg/cm² (150 psi) y unirá los dos tramos de tubería, su objetivo es permitir maniobras de desinstalación, el otro tramo de tubería llevara en su extremo aguas arriba la misma preparación para instalar el cople y en su extremo aguas abajo una brida para unirse con el tramo de tubería de la válvula de chorro divergente. La brida será fabricada con acero clasificación ASTM A36, clase 150 y sus dimensiones las rige la normatividad de la ASME B16.47.

Para el servicio se instalan válvulas de chorro divergente al finalizar las tuberías de los ramales de la obra de toma, las válvulas están ancladas a un muro que se limita por la estaciones 0+052.00 y 0+052.80 m, la descarga se consume en una estructura disipadora de concreto armado. En el presente trabajo se indican las especificaciones técnicas solicitadas a la constructora del proyecto para el diseño, fabricación, suministro y pruebas de válvulas de chorro divergente de 1066.8 mm (42") de diámetro, se incluyen tramos de ajuste bridados para unir con la tubería de la obra de toma del mismo diámetro y el sistema de transmisión hasta el actuador de operación manual-eléctrica para apertura y cierre de la válvula.

Las condiciones de trabajo de la válvula para fines de diseño son las siguientes:

Carga estática máxima	42.60 mca
Carga mínima disponible	0.57 mca
Gasto de la válvula con carga mínima	3.5 m ³ /s
Presión de diseño 1.5 x 42.60 mca	63.90 mca
NAME del embalse	1635.57 msnm
NAMIN del embalse	1597.00 msnm
Elevación del eje de la tubería	1593.66 msnm
Fugas admisibles	0.00 lps

Los materiales y la fabricación de la válvula de chorro divergente deberán estar de acuerdo con las normas más recientes de la ASTM, AISI y AWWA.

El cuerpo de la válvula estará constituido por un cilindro hecho con placa de acero soldada, con una brida con ranura para empaque redondo de hule en el extremo aguas arriba para conectarse al tramo de tubería adyacente, que también será suministrado por el Contratista. En su extremo aguas abajo llevará un cono fijo, soportado al cuerpo de la válvula por una serie de costillas radiales, que tendrá un sello elástico en su circunferencia exterior y quedará fijo al cono, mediante un anillo metálico, por una serie de tornillos. La zona exterior del cilindro donde desliza el elemento obturador será maquinada. El elemento obturador está constituido por un cilindro exterior deslizante sobre el cuerpo de la válvula y reforzado en forma adecuada para la carga máxima que va a soportar. Tendrá un sistema de estanqueidad en su lado de aguas arriba para evitar fugas por esa parte. El extremo de aguas abajo del elemento de cierre será diseñado para evitar el fenómeno de cavitación, así como para obtener un cierre hermético en la válvula. Deberá evitar que el sello elástico fijo al cono, quede en contacto permanente con el chorro del agua, para evitar su desgaste excesivo y su reposición frecuente. Esta operación deberá poder efectuarse en forma fácil y en el menor tiempo posible. El mecanismo de operación estará constituido por dos husillos fijos al cilindro obturador en el plano horizontal y a cada lado de éste. Será fabricado con acero resistente a la corrosión y requerirá un mínimo de mantenimiento.

El husillo será accionado por una serie de reductores de velocidad y cambiadores de dirección. Los engranes quedarán protegidos por cajas

de fierro fundido que contendrán el aceite lubricante. Las cajas serán lo suficientemente herméticas para impedir que penetre el agua.

Las transmisiones laterales se unirán en la parte superior de la válvula en una sola flecha vertical para conectar el sistema al operador manual y eléctrico que será instalado en un pedestal en la caseta de operación. El operador será suministrado por el fabricante de la válvula y tendrá la posibilidad de conexión a sistemas de control remoto y medición de gasto.

La soldadura será aplicada bajo la normatividad del código ASME de calderas y recipientes de presión, o bajo el procedimiento estándar del AWS (American Welding Society). Todas las soldaduras deberán tener una fusión completa con el metal base y deberán estar libres de grietas, oxidación, inclusiones de escoria y bolsas de aire.

Se deben relevar las tensiones internas (eliminación de esfuerzos residuales) motivados por los procesos de soldadura, el fabricante licitante también debe relevar las tensiones en aquellas partes que lo requieran, de acuerdo a la inspección efectuada y con el fin de uniformizar los esfuerzos de los elementos expuestos a las variaciones térmicas debidas a los procesos de soldadura.

La válvula deberá ser probada hidrostáticamente en los talleres del Contratista y en presencia del Supervisor que haya sido designado por la Institución, aplicando una presión equivalente a la carga especificada enseguida, por lo que el Contratista deberá incluir en su cotización el costo de estas pruebas, debiendo proporcionar todos los elementos necesarios para llevarlas a cabo.

- a) Aplicación de la presión.- Una vez cerrados ambos extremos de la válvula, se llenará con agua y se elevará la presión en el interior del cuerpo de la válvula, hasta alcanzar la presión de prueba (1.5 x 1.25 x carga estática máxima), debiendo sostenerse esta presión cuando menos durante un período de una hora, al final de la cual y aún bajo esa presión de prueba, se inspeccionará para comprobar si hay o no fugas o áreas defectuosas, lo cual servirá para comprobar la calidad del material de fabricación.
- b) Investigación de fugas.- Después de terminar la prueba del cuerpo de la válvula satisfactoriamente y estando la válvula en su posición de totalmente cerrada, se hará la prueba de fugas con

una presión obtenida de la diferencia entre los niveles de agua máximos ordinario y el de la válvula considerada. Bajo esta presión, la fuga que se mida en cada caso no deberá ser mayor que la máxima especificada. El tiempo que deberá durar esta prueba será el necesario para inspeccionar la válvula correctamente. En caso necesario deberán ajustarse a mano o a máquina los asientos de las válvulas, con el objeto de obtener el cierre en las condiciones descritas.

Si durante las pruebas hidrostáticas de la válvula, se encuentran fugas o áreas defectuosas a través del material, será necesario limpiar perfectamente la región en que se encuentra la fuga hasta encontrar metal sano y rellenar con soldadura, si a juicio del Supervisor es conveniente. En caso de que haya sido necesario soldar, la institución podrá exigir pruebas adicionales de rayos "X" y un tratamiento de relevado de esfuerzos (producidos por calentamiento no uniforme) y efectuar luego nuevas pruebas hidrostáticas, todo lo cual se hará por cuenta del Contratista.

Tan pronto como sea posible, después de haber hecho la soldadura en las tuberías, el 100% de todas las juntas de campo y no más del 10% de todas las juntas circunferenciales de taller, deberán ser radiografiadas; pero si las soldaduras resultan defectuosas, el residente de la obra podrá exigir otros porcentajes iguales adicionales de radiografías sucesivamente, hasta que a juicio de los mismos, las soldaduras resulten sanas. Todas las radiografías necesarias serán por cuenta del contratista. La película usada para hacer las radiografías será del tipo de combustión lenta (SlowBurning). Las radiografías se tomarán estrictamente de acuerdo con los requisitos y con la técnica descrita en la sección W-254 de la última edición del código API-ASME y llevarán inscrita su localización correspondiente, todas las radiografías y sus reportes se entregarán a los Inspectores de la CONAGUA con objeto de que éstos juzguen de la calidad de todas las juntas soldadas. Los defectos de soldadura que sean mostrados por las radiografías, deberán eliminarse por medio de Arc-Air hasta encontrar el metal sano y las cavidades resultantes deberán ser soldadas otra vez; las soldaduras que hayan sido reparadas se radiografiarán otra vez. Se deberá preparar y suministrar un diagrama de marcas de cada tramo de tuberías, mostrando la localización de cada radiografía para cada junta soldada.

CONCLUSIONES

La importancia de las presas es vital para el desarrollo económico de la nación, estas son utilizadas para diversos fines como son suministro de agua para consumo urbano, riego agrícola, control de avenidas y/o generación de energía eléctrica, las estructuras complementarias que constituyen este tipo de obras deben ser proyectadas cumpliendo los requerimientos para los cuales es destinado su aprovechamiento, siempre enfocándose a que los diseños sean seguros, óptimos y eficientes.

La magnitud de este tipo de proyectos hace de la seguridad un aspecto fundamental a ser considerado en el diseño, ello con el fin de mitigar los riesgos de falla que puedan existir durante la construcción y operación de las estructuras.

La obra de toma es una de las principales estructuras de una presa de almacenamiento, sus dimensiones son elementales para que el funcionamiento sea seguro y tenga la capacidad de proporcionar el gasto requerido.

Las dimensiones de los elementos que conforman la obra de toma en el presente trabajo se determinaron principalmente con el análisis hidráulico considerando las condiciones que se presentan en la época de estiaje, siendo éste período de operación donde la precipitación y escurrimiento en el río son las mínimas y los cultivos demandan el gasto máximo para su riego, además en la selección se considera la reducción de costos de los equipos y factibilidad de suministro.

La selección del sistema de válvulas de control se realiza tomando en cuenta los factores de riesgo que se presentan en la operación de la obra de toma, en este trabajo se consideré dos factores primordiales, uno es la falla inoportuna de cualquier elemento que se encuentre fuera del embebido de concreto con lo que exista la necesidad de interrumpir el flujo en su totalidad y el otro es la aplicación de mantenimiento a las válvulas de servicio, que por su disposición física requieren de mantenimientos y revisiones periódicas, motivo por el cual sería necesario suspender el suministro de agua. De acuerdo a esos factores decidí incluir una válvula principal para emergencia que se instalará en la tubería principal, a la salida del embebido de concreto, y dos válvulas de tipo mariposa que tendrán la posibilidad de seccionar cada ramal para dar

mantenimiento a las válvulas de servicio sin interrumpir el flujo en su totalidad.

En el diseño mecánico se consideran las cargas de trabajo aplicadas en la tubería durante la instalación y la operación de la obra de toma, se determina un espesor mínimo a partir del cual se selecciona un espesor comercial para que sea posible suministrar la tubería con un menor costo y tiempo de fabricación. En este proyecto se ideó la utilización de anillos de refuerzo para la sección de tubería que queda embebida en concreto con el fin de obtener un espesor mínimo que pueda soportar las cargas externas, reduciendo así el costo de adquisición.

Como resultado de las actividades del trabajo se elaboró el plano general de la obra de toma para visualizar la distribución y dimensionamiento de los tramos de tubería, el plano de fabricación de la bifurcación reductora de diámetros, cumpliendo en su diseño con la normatividad correspondiente y adecuándose a la obra civil proyectada.

En este proyecto es importante considerar para la selección de elementos que conforman la obra de toma, que los equipos sean fabricados comercialmente y que cumplan con los estándares de calidad requeridos, ello con el fin de que puedan proporcionar seguridad de operación y garantía en su fabricación. En caso de que no fuera posible seleccionar dimensiones que sean de fabricación comercial se pueden fabricar equipos con características especiales, dando lugar a un incremento en costos de adquisición.

Durante todo el proceso de la elaboración del proyecto de una presa de almacenamiento se llevan a cabo trabajos multidisciplinarios que exigen un trabajo en equipo obligado, la responsabilidad que toma cada una de las áreas que intervienen en el proyecto es de vital importancia, pues de ello depende que la construcción y la operación de la presa sea adecuada y se cumpla con el objetivo general del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

American Iron And Steel Institute. (1998). *Buried Steel Penstocks*. Cincinnati, Ohio: Steel Plate Fabricators Association, Inc.

American Society of Civil Engineers. (2012). *Steel Penstocks: Second Edition. Volume 79 of ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice*. (J. H. Bambei, Ed.) Reston, Virginia: ASCE.

American Water Works Association. (2004). *Steel Water Pipe: A Guide for Design and Installation. Manual of water supply practices M11 (4th ed.)*. (A. W. Association, Ed.) Denver, CO, United States of America: American Water Works Association.

Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Instalaciones Mecánicas*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Comisión Nacional del Agua. (11 de noviembre de 2014). *Conócenos*. Obtenido de Historia de la Comisión Nacional dle Agua: <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=1&n2=1>

Comisión Nacional del Agua. (2015). *Atlas del Agua en México 2015*. Mexico: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

King H., W., & Brater E., F. (1963). *Handbook of Hydraulics*. New York: Mc. Graw-Hill.

SAGARPA-Colegio de Postgraduados. (16 de febrero de 2016). *Obras de Toma para Aprovechamientos Hidráulicos*. Obtenido de SAGARPA: http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/FICHA%20TECNICA_OBRAS%20DE%20TOMA.pdf

Savage, J. M. (1929). *High-Pressure Reservoir Outlets-A Report on Bureau of Reclamation Installations*. Washington (D. C.): U. S. Government Printing Office.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1980). *Obras de Toma para Presas de Almacenamiento*. México: Subsecretaria de Infraestructura Hidráulica.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. (1960). Ingeniería Hidráulica en México.
En A. Calvo Mijangos, *Formulario para el cálculo de tuberías forzadas*
(Vol. XIV). D. F., México: SRH Dirección de Información y Divulgación.

Torres, F. (1994). *Obras Hidráulicas*. México: Limusa.

U. S. Bureau of Reclamation. (1980). *Air-Water Flow in Hydraulic Structures*.
Denver, Colorado: U. S. Government .

U. S. Bureau Of Reclamation. (1986). *Welded Steel Penstocks*. Washington:
U. S. Government.

ANEXOS

CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN EL ESCENARIO 1. LAS DOS VÁLVULAS DE SERVICIO ABIERTAS Y DESCARGANDO UN GASTO DE Q = 5.00 M3/S

La ecuación aplicada al sistema de la obra de toma queda como sigue:

$$Z_i = h_r + \frac{V_f^2}{2g}$$

Donde:

Z_i = Carga necesaria para obtener el gasto de diseño

h_r = Pérdidas por fricción y locales del sistema en m.

$V_f/2g$ = la carga de velocidad en la salida en m.

A continuación se evalúa cada una de las pérdidas que intervienen en el sistema.

- a) Pérdida en las rejillas de entrada ($h_{rejillas}$), se valúan con la fórmula de Kirschmer (CONAGUA 2007).

$$h_{rejillas} = C_f \left(\frac{s}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \text{sen}\theta \frac{V_0^2}{2g}$$

Donde:

$h_{rejillas}$ = pérdida de carga en la rejilla, en m.

C_f = coeficiente que depende de los frentes que presentan las barras al flujo, ver figura A-1.

s = Espesor de las barras, en cm.

b = Claro libre entre rejillas, en cm.

V_0 = velocidad del agua frente a las rejillas, en m/s.

g = Aceleración de la gravedad, en m/s².

θ = Angulo de inclinación de la rejilla con la horizontal.

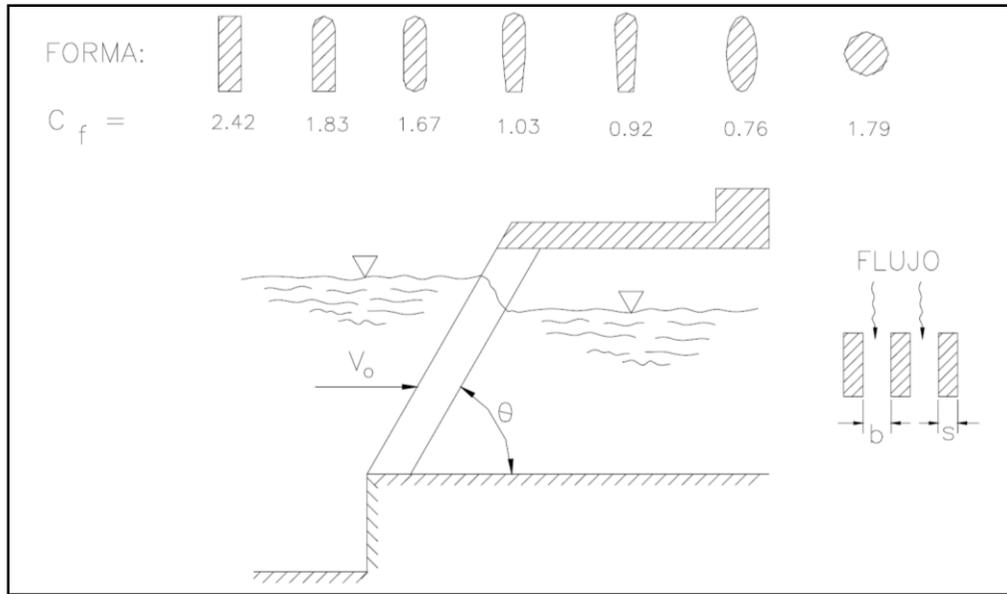


Figura A-1. Coeficientes C_f aplicables a la fórmula de Kirschmer de acuerdo con las formas de las barras.
 Fuente: Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de Instalaciones Mecánicas*. (SEMARNAT, Ed.) México, D. F.

$C_f = 2.42$ (en este caso)

$s = 1.27$ cm

$b = 10 - 1.27 = 8.73$ cm

$\theta = 90^\circ$; $\text{sen } \theta = 1$

$g =$ aceleración gravitatoria $= 9.81$ m/s².

$V_0 =$ velocidad a través de los vanos en m/s.

El área de la rejilla será considerada como la mitad del área del vano, considerado una obstrucción.

$$v_0 = \frac{Q}{0.5A} = \frac{5.00 \text{ m}^3/\text{s}}{0.5(3 \times 2.1 \text{ m} \times 1.7 \text{ m})} = 0.934 \text{ m/s} \quad ; \quad \frac{v_0^2}{2g} = 0.044 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores en la fórmula de Kirschmer.

$$h_{\text{rejillas}} = 2.42 \left(\frac{1.27}{8.73} \right)^{\frac{4}{3}} (1)(0.044) = 0.008 \text{ m}$$

$$h_{\text{rejillas}} = \mathbf{0.01 \text{ mca}}$$

b) Pérdidas en la entrada de la tubería (h_{entrada})

El valor de la pérdida local depende de la forma que tenga la entrada del ducto. Se propone una entrada con aristas redondeas con radio de 20 cm, para dar paso a la tubería de 132.08 cm (52") de diámetro.

La pérdida generada por la entrada (h_{entrada}) se calcula con la siguiente expresión.

$$h_{\text{entrada}} = K_e \frac{v_e^2}{2g}$$

Donde:

K_e = Coeficiente de pérdidas por entrada, en este caso se considera la entrada circular en forma de campana. $K_e = 0.1$ (Torres H. 1994).

V_e = velocidad del conducto de entrada, en m/s.

Se obtiene V_e , de la ecuación de continuidad:

$$V = Q/A$$

$$Q = 5.00 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} [\text{m}] = \frac{\pi \times 1.32^2}{4} = 1.37 \text{ m}^2$$

$$V_e = \frac{5.00}{1.37} = 3.65 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2.$$

Sustituyendo

$$h_{\text{entrada}} = 0.1 \frac{3.65^2}{2 \times 9.81} = 0.068 \text{ m}$$

$$\mathbf{h_{\text{entrada}} = 0.07 \text{ mca}}$$

c) Pérdidas por fricción en la tubería de 132.08 cm (52") de diámetro nominal ($h_{f 52''}$).

La fórmula que comúnmente es usada para el cálculo de pérdidas por fricción en tuberías de presión es la de Scobey (Buried Steel Penstocks 1998).

$$h_{f\ 52} = K_s \frac{V^{1.9}}{D^{1.1}} \times \frac{L}{1000}$$

Donde:

h_f = pérdida de carga en pies por cada 1000 pies de tubería.

K_s = coeficiente de perdidas = 0.40 (Buried Steel Penstocks 1998)

V = velocidad media (V_1)

L = longitud de la tubería

La velocidad media (V_1) la determino con un gasto de 5 m³/s transitando en una tubería de 132.08 mm (52") de diámetro nominal, propongo un espesor preliminar de 9.5 mm (3/8"), ya que es un espesor comercial de fabricación, con lo que se podrá tener en cuenta el diámetro interior de la tubería. El espesor definitivo de la tubería se calcula y selecciona posteriormente en el diseño mecánico de la tubería.

La velocidad media se obtiene de la ecuación de continuidad:

$$V = Q/A$$

$$Q = 5.00 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_1 = \frac{\pi D_{int}^2}{4} ; D_{int} = \text{diámetro interior de la tubería} = D_1$$

$$D_1 = (52'' - 3/4'') \times 0.0254 \text{ m/in} = 1.302 \text{ m} = 4.272 \text{ ft}$$

$$A_1 = \frac{\pi \times 1.302^2}{4} = 1.331 \text{ m}^2$$

$$V_1 = \frac{5.00}{1.331} = 3.76 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 12.336 \text{ ft/s}$$

Del numeral 3.5.3, inciso b) se tiene que:

$$L_{52''} = 36.60 \text{ m} = 120.079 \text{ ft}$$

Sustituyendo los valores obtenidos en la fórmula de Scobey.

$$h_{f\ 52} = 0.40 \times \frac{12.336^{1.9}}{4.272^{1.1}} \times \frac{120.079}{1000} = 1.151 \text{ ft} \times \frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} = 0.351 \text{ m}$$

$$h_{f\ 52''} = \mathbf{0.35 \text{ mca}}$$

d) Pérdida en la ampliación de tubería de 132.08 cm a 137.16 cm (52" a 54") de diámetro (h_{amp}).

La pérdida de energía para una expansión gradual se calcula con la siguiente ecuación:

$$h_{amp} = K_{amp} \frac{V_{amp}^2}{2g}$$

Donde:

V_{amp} = velocidad en la tubería más pequeña en m/s.

K = coeficiente de pérdida, depende de la relación de diámetros (D_2/D_1) y el ángulo del cono, ver tabla A-1.

D_2/D_1	Ángulo del cono θ											
	2°	6°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°
1.1	0.01	0.01	0.03	0.05	0.10	0.13	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23
1.2	0.02	0.02	0.04	0.09	0.16	0.21	0.25	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37
1.4	0.02	0.03	0.06	0.12	0.23	0.30	0.36	0.41	0.44	0.47	0.50	0.53
1.6	0.03	0.04	0.07	0.14	0.26	0.35	0.42	0.47	0.51	0.54	0.57	0.61
1.8	0.03	0.04	0.07	0.15	0.28	0.37	0.44	0.50	0.54	0.58	0.61	0.65
2.0	0.03	0.04	0.07	0.16	0.29	0.38	0.46	0.52	0.56	0.60	0.63	0.68
2.5	0.03	0.04	0.08	0.16	0.30	0.39	0.48	0.54	0.58	0.62	0.65	0.70
3.0	0.03	0.04	0.08	0.16	0.31	0.40	0.48	0.55	0.59	0.63	0.66	0.71
∞	0.03	0.05	0.08	0.16	0.31	0.40	0.49	0.56	0.60	0.64	0.67	0.72

Tabla A-1. Coeficientes C_f de resistencia para expansión gradual. Fuente: King, H.W. y E. F. Brater. 1963. *Handbook of Hydraulics*, 5ª ed. Nueva York: McGraw-Hill, tabla 6-8.

Con los datos de diseño geométrico de la ampliación y continuando con un espesor preliminar propuesto de 9.5 mm (3/8") se obtienen los valores por sustituir.

$V_{amp} = V_1 = 3.76$ m/s (se calculó en el inciso anterior)

$K_{amp} = 0.01$ (De la tabla A-1)

Sustituyendo valores en la ecuación se obtiene:

$$h_{amp} = 0.01 \frac{3.76^2}{2 \times 9.81} = 0.007 \text{ m}$$

$$h_{amp} = 0.01 \text{ mca}$$

e) Pérdidas por fricción en la tubería de 137.16 cm (54") de diámetro nominal ($h_{f\ 54''}$).

Las pérdidas por fricción calculan con la fórmula de Scobey, tal como se indicó en el inciso c), el espesor propuesto para efectos de cálculo en la tubería de 137.16 cm (54") es de 9.5 mm (3/8") considerando que es un espesor comercial.

$$h_{f\ 54''} = K_s \frac{V_2^{1.9}}{D_2^{1.1}} \times \frac{L_{54''}}{1000}$$

Dónde:

$K_s = 0.40$ (Buried Steel Penstocks 1998)

$D_2 = (54''-3/4'') \times 0.0254\ \text{m/in} = 1.353\ \text{m} = 4.439\ \text{ft}$

$$A_2 = \frac{\pi \times 1.353^2}{4} = 1.438\ \text{m}^2$$

$$V_2 = \frac{5.00}{1.438} = 3.48\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 11.417\ \text{ft/s}$$

$L_{54''} = 4.215\ \text{m} = 13.829\ \text{ft}$

Sustituyendo los valores obtenidos en la fórmula de Scobey.

$$h_{f\ 54} = 0.40 \times \frac{11.417^{1.9}}{4.439^{1.1}} \times \frac{13.829}{1000} = 0.110\ \text{ft} \times \frac{0.3048\ \text{m}}{1\ \text{ft}} = 0.034\ \text{m}$$

$$h_{f\ 54''} = \mathbf{0.03\ mca}$$

f) Pérdidas locales en la válvula de emergencia de 137.16 cm (54") de diámetro nominal (h_{val-54}).

La pérdida localizada en una válvula se calcula con la siguiente expresión:

$$h_{val} = K_{val} \frac{V^2}{2g}$$

Dónde:

h_{val} = pérdida de carga en m.

K_{val} = coeficiente de pérdida local de la válvula de mariposa, se determinada consultando la literatura, normatividad de diseño de válvulas

o directamente las tablas de algún fabricante, su valor está en función del porcentaje de abertura de la lenteja de la válvula.

V = Velocidad del agua en la tubería, en m/s.

En este caso se toma el valor de K_{val} de un fabricante (Rodney Hunt), con una abertura del 90%, dando como resultado $K_{val} = 0.8$

La velocidad es $V_2 = 3.48$ m/s, calculada en el inciso anterior.

Sustituyendo los valores para calcular h_{val-54} , se tiene:

$$h_{val-54} = 0.8 \times \frac{3.48^2 \text{ m/s}}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.494 \text{ m}$$

$$h_{val-54} = 0.49 \text{ mca}$$

g) Pérdidas locales en la bifurcación ($h_{bifurcación}$)

La pérdida local se determina con la siguiente expresión.

$$h_{bifurcacion} = K_{bifurcacion} \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$K_{bifurcacion}$ = coeficiente de pérdidas en la bifurcación

$K_{bifurcacion} = 1.0$ (Buried Steel Penstock 1998)

V = Velocidad del flujo en el ramal en m/s

En este caso V es la velocidad dentro de la tubería de 54" de diámetro nominal, transitando el gasto de un ramal, en este caso el gasto es de 2.5 m³/s ($V_{min-ramal}$).

$$V_{min-ramal} = \frac{2.5 \text{ m}^3/\text{s}}{A_2 [\text{m}^2]}; A_2 \text{ se calculó en el inciso e)}$$

$$V_{min-ramal} = \frac{2.5}{1.438} = 1.74 \text{ m/s}$$

$g = 9.81$ m/s².

Sustituyendo los valores

$$h_{bifurcacion} = 1 \times \frac{(1.74)^2}{2 \times 9.81} = 0.154 \text{ m}$$

$$h_{bifurcacion} = 0.15 \text{ mca}$$

h) Pérdida local por reducción de diámetros en el codo (h_{rc}), de 137.16 cm (54") a 106.68 cm (42").

Se calcula con la siguiente expresión

$$h_{rc} = K_{rc} \frac{V_3^2}{2g}$$

Donde:

K_{rc} = coeficiente de pérdidas en la reducción del codo. Está en función de la relación de diámetros y el ángulo del cono.

V_3 = velocidad en la salida, dentro de la tubería de 42" de diámetro nominal.

$K_{rc} = 0.1$ (Ingeniería hidráulica en México 1960)

$$V_3 = \frac{2.5 \text{ m}^3/\text{s}}{A_3 [\text{m}^2]}$$

$$A_3 = \frac{\pi D_3^2}{4}$$

Considerando una tubería comercial de 42" de diámetro nominal cuyo espesor mínimo comercial es de 9.5 mm (3/8").

$$D_3 = (42'' - 3/4'') \times 0.0254 \text{ m/in} = 1.048 \text{ m}$$

$$A_3 = \frac{\pi \times 1.048^2}{4} = 0.862 \text{ m}^2$$

$$V_3 = \frac{2.5}{0.862} = 2.90 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Sustituyendo valores:

$$h_{rc} = 0.1 \times \frac{2.9^2}{2 \times 9.81} = 0.043 \text{ m}$$

$$h_{rc} = 0.04 \text{ mca}$$

i) Pérdidas locales en el codo (h_{codo}), por cambio de dirección

La pérdidas locales en esta pieza se obtienen con la siguiente expresión.

$$h_{\text{codo}} = \xi \frac{V_{\text{med}}^2}{2g}$$

Donde

ξ = coeficiente de pérdida de carga del codo.

V_{med} = velocidad media en el cono, en m/s.

Obtenemos ξ de la figura A-2, entrando a la gráfica con los datos de $R_{\text{codo}}/D_{\text{med}}$ y el ángulo de cambio de dirección del codo ($\Delta/2$).

$$R_{\text{codo}}/D_{\text{med}} = 3.5; \Delta/2 = 37.5^\circ$$

$$\xi = 0.072$$

$V_{\text{med}} = V_{\text{med-ramal}}$ = velocidad media en el cono en m/s. En este caso el gasto que transita es de 2.5 m³/s.

$V_{\text{med}} = 0.5 (V_{\text{min-ramal}} + V_3)$; Ambos valores se calcularon previamente.

$$V_{\text{med}} = 0.5 (1.74 + 2.9) = 2.32 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2.$$

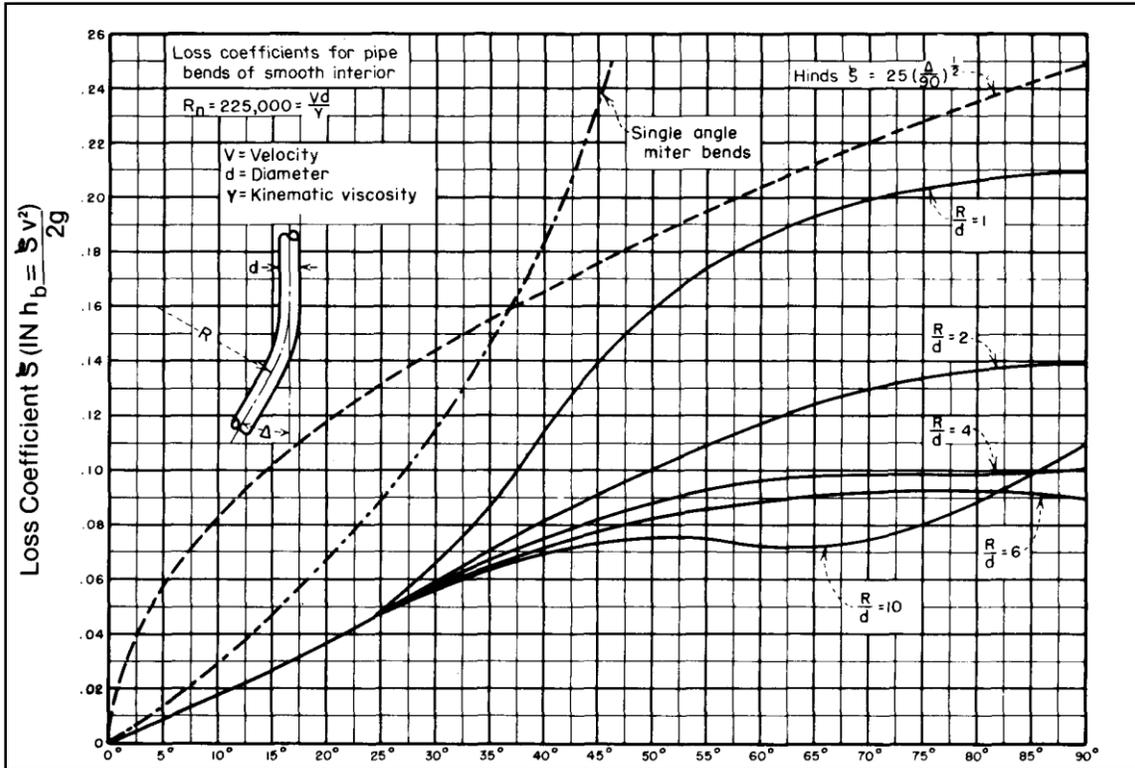


Figura A-2. Coeficientes de pérdida ξ aplicables a codos de tubería con interior liso. Fuente: American Iron and Steel Institute, 1998. *Buried Steel Penstocks*, 2ª ed. Figure 1.1.2.

Sustituyendo los valores

$$h_{codo} = 0.072 \times \frac{(2.32)^2}{19.62} = 0.020$$

$$h_{codo} = 0.02 \text{ mca}$$

j) Pérdidas por fricción en la bifurcación reductora ($h_{f-bifurcación}$)

Las pérdidas por fricción en la bifurcación reductora se obtendrán con la fórmula de Scobey. Se evalúan las pérdidas por fricción considerando las longitudes de los tramos rectos de tubería de la bifurcación ($h_{f-tr-bif}$) y codos reductores ($h_{f-ramal}$), tal como se indica a continuación:

$$h_{f-bifurcacion} = h_{f-tr-bif} + h_{f-ramal}$$

- Pérdidas por fricción en el tramo recto con gasto de 5.0 m³/s ($h_{f-tr-bif}$).

$$h_{f-tr-bif} = K_s \frac{V_2^{1.9}}{D_2^{1.1}} \times \frac{F}{1000}$$

Dónde:

$$K_s = 0.40$$

$$V_2 = 11.417 \text{ ft/s (se calculó previamente)}$$

$$D_2 = 4.439 \text{ ft (se calculó previamente)}$$

F = Longitud de tramo recto con diámetro nominal de 137.16 cm (54") comprendido entre el inicio del atraque de concreto y el punto central de la bifurcación, ver figuras 12 y 13.

$$F = 0.9774 \text{ m} = 3.207 \text{ ft}$$

Sustituyendo:

$$h_{f \text{ tr-bif}} = 0.40 \times \frac{11.417^{1.9}}{4.439^{1.1}} \times \frac{3.207}{1000} = 0.025 \text{ ft} \times 0.3048 \frac{\text{m}}{\text{ft}} = 0.008 \text{ m}$$

- Pérdidas generadas en el ramal con el gasto de 2.50 m³/s ($h_{f\text{-ramal}}$).

$$h_{f\text{-ramal}} = K_s \frac{V_{med}^{1.9}}{D_{med}^{1.1}} \times \frac{L_{ramal}}{1000}$$

Dónde:

$$K_s = 0.40$$

$$V_{med} = 7.612 \text{ ft/s (se calculó previamente)}$$

$$D_{med} = 0.5(D_2 + D_3) = 0.5(1.353 + 1.048) = 1.20 \text{ m} = 3.937 \text{ ft}$$

L_{ramal} = longitud del ramal en ft. Se considera desde el punto central de la bifurcación hasta el término del atraque de concreto, ver figuras 12 y 13.

$$L_{ramal} = H_y + L_{arco} + J;$$

H_y y J se calcularon en el diseño geométrico.

$$L_{arco} = \left(\frac{37.5}{360}\right) \times 2\pi \times 4.2 \text{ m} = 2.749 \text{ m}$$

$$L_{ramal} = 1.12 + 2.749 + 0.5772 = 4.4462 \text{ m} = 14.587 \text{ ft}$$

Sustituyendo los valores

$$h_{f\text{-ramal}} = 0.40 \frac{7.612^{1.9}}{3.937^{1.1}} \times \frac{14.587}{1000} = 0.061 \text{ ft} \times 0.3048 \frac{\text{m}}{\text{ft}} = 0.019 \text{ m}$$

Con los valores obtenidos se calcula la pérdida por fricción en la bifurcación reductora ($h_{f-bifurcacion}$)

$$h_{f-bifurcacion} = h_{f\ tr-bif} + h_{f-ramal} = 0.008 + 0.019 = 0.027\ m$$

$$h_{f-bifurcacion} = \mathbf{0.03\ mca}$$

k) Pérdidas por fricción en los tramos de tubería de 106.68 cm (42") de diámetro nominal ($h_{f\ 42''}$).

De la fórmula de Scobey tenemos que:

$$h_{f\ 42''} = K_s \frac{V_3^{1.9}}{D_3^{1.1}} \times \frac{L_{42''}}{1000}$$

Dónde:

$$K_s = 0.40$$

$$V_3 = 2.90\ m/s = 9.514\ ft/s$$

$$D_3 = 1.048\ m = 3.438\ ft$$

$$L_{42''} = 7.30\ m = 23.95\ ft$$

Sustituyendo:

$$h_{f\ 42''} = 0.40 \times \frac{9.514^{1.9}}{3.438^{1.1}} \times \frac{23.95}{1000} = 0.178\ ft \times 0.3048 \frac{m}{ft} = 0.054$$

$$h_{f\ 42''} = \mathbf{0.05\ mca}$$

l) Pérdidas locales en la válvula de mantenimiento de 106.68 cm (42") de diámetro nominal (h_{val-42}).

La pérdida localizada en una válvula se calcula con la siguiente expresión:

$$h_{val-42} = K_{val} \frac{V_3^2}{2g}$$

Dónde:

$$K_{val} = 0.8\ (\text{tomado de fabricante Rodney Hunt, 90\% de abertura})$$

$$V_3 = 2.90\ m/s$$

$$g = 9.81\ m/s^2$$

Sustituyendo los valores para calcular h_{val-42} , se tiene:

$$h_{val-42} = 0.8 \times \frac{2.90^2 \text{ m/s}}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.343 \text{ m}$$

$$h_{val-42} = 0.34 \text{ mca}$$

m) Pérdidas de carga en la descarga de la válvula de servicio tipo chorro divergente (h_{val-ch}).

La pérdida generada en la válvula de chorro divergente se obtiene con la fórmula que relaciona el gasto, carga y coeficiente de descarga con una abertura total, se indica a continuación:

$$Q = C_d A \sqrt{2gH}$$

Donde:

Q = gasto descargado por la válvula en $\text{m}^3/\text{s} = 2.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

C_d = coeficiente de descarga de la válvula con abertura total = 0.85 (obtenido de fabricante Rodney Hunt).

A = área calculada con el diámetro nominal de la válvula en m^2 .

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

H = (h_{val-ch}) carga neta en m (inmediatamente aguas arriba de la válvula).

Se despeja la carga neta (H) y se obtiene la pérdida localizada en la válvula de chorro divergente (h_{val-ch}).

$$H = \left(\frac{Q}{C_d A} \right)^2 \frac{1}{2g} = \left(\frac{2.50}{0.85 \times \left(\frac{\pi \times 1.0668^2}{4} \right)} \right)^2 \frac{1}{2 \times 9.81} = 0.552 \text{ m}$$

$$h_{val-cd} = 0.55 \text{ mca}$$

La pérdida de velocidad en la salida de la obra de toma ya no será considerada ya que está implícita en el cálculo de la pérdida en la descarga de la válvula de chorro divergente.

De acuerdo a lo anterior, a continuación se realiza la suma de pérdidas de carga obtenidas en los incisos y se obtiene Z_i :

Inciso	Perdida	Valor [m]
a)	$h_{rejillas}$	0.01
b)	$h_{entrada}$	0.07
c)	$h_f 52''$	0.35
d)	$h_{amp-tub}$	0.01
e)	$h_f 54''$	0.03
f)	$h_{val-54''}$	0.49
g)	$h_{bifurcación}$	0.15
h)	h_{rc}	0.04
i)	h_{codo}	0.02
j)	$h_f-bifurcacion$	0.03
k)	$h_f 42''$	0.05
l)	$h_{val-42''}$	0.34
m)	h_{val-cd}	0.55
TOTAL =		$Z_i =$
		2.14 m

Se tiene que:

$$Z_i = \text{Elev. NAMINO} - 1593.66 \text{ msnm}$$

Por lo tanto:

$$\text{Elevación del NAMINO} = 2.14 + 1593.66 = 1595.80 \text{ msnm}$$

CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN EL ESCENARIO 2. UNA VÁLVULA DE SERVICIO ABIERTA Y DESCARGANDO UN GASTO DE 3.50 M3/S.

Se evalúan las pérdidas con el mismo procedimiento que en el escenario 1.

a) Pérdida en las rejillas de entrada ($h_{rejillas}$)

$$h_{rejillas} = C_f \left(\frac{s}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \text{sen}\theta \frac{V_0^2}{2g}$$

Donde:

$C_f = 2.42$ (ver figura A-1)

$s = 1.27$ cm

$b = 10 - 1.27 = 8.73$ cm

$\theta = 90^\circ$; $\text{sen } \theta = 1$

$g =$ aceleración gravitatoria $= 9.81$ m/s².

$V_0 =$ velocidad a través de los vanos en m/s.

El área de la rejilla será considerada como la mitad del área del vano, considerado una obstrucción.

$$v_0 = \frac{Q}{0.5 A} = \frac{3.50 \text{ m}^3/\text{s}}{0.5(3 \times 2.1 \text{ m} \times 1.7 \text{ m})} = 0.654 \text{ m/s} \quad ; \quad \frac{V_0^2}{2g} = 0.022 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores

$$h_{rejillas} = 2.42 \left(\frac{1.27}{8.73}\right)^{\frac{4}{3}} (1)(0.022) = 0.004 \text{ m}; \text{ Se tomará el valor de } 0.01 \text{ m.}$$

$h_{rejillas} = 0.01$ mca

b) Pérdidas en la entrada de la tubería ($h_{entrada}$)

$$h_{entrada} = K_e \frac{v_e^2}{2g}$$

Donde:

$K_{ent} = 0.1$ (Torres H. 1994).

$$V_e = \frac{3.50}{1.37} = 2.55 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2.$$

Sustituyendo

$$h_{\text{entrada}} = 0.1 \frac{2.55^2}{19.62} = 0.033 \text{ m}$$

$$h_{\text{entrada}} = \mathbf{0.03 \text{ mca}}$$

c) Perdidas por fricción en la tubería de 132.08 cm (52") de diámetro nominal ($h_{f \text{ 52"}}$).

$$h_{f \text{ 52}} = K_s \frac{V_1^{1.9}}{D_1^{1.1}} \times \frac{L_{52}}{1000}$$

Dónde:

$$K_s = 0.40 \text{ (Buried Steel Penstocks 1998)}$$

$$D_1 = 1.302 \text{ m} = 4.272 \text{ ft}$$

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{3.50}{1.331} = 2.63 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 8.629 \text{ ft/s}$$

$$L_{52"} = 36.60 \text{ m} = 120.079 \text{ ft}$$

Sustituyendo los valores

$$h_{f \text{ 52"} = 0.40 \times \frac{8.629^{1.9}}{4.272^{1.1}} \times \frac{120.079}{1000} = 0.584 \text{ ft} \times \frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} = 0.178 \text{ m}$$

$$h_{f \text{ 52"} = \mathbf{0.18 \text{ mca}}$$

d) Pérdida en la ampliación de tubería de 132.08 cm a 137.16 cm (52" a 54") de diámetro (h_{amp}).

$$h_{\text{amp}} = K_{\text{amp}} \frac{V_{\text{amp}}^2}{2g}$$

Donde:

$$V_{\text{amp}} = V_1 = 2.63 \text{ m/s (se calculó en el inciso anterior)}$$

$$K_{\text{amp}} = 0.01 \text{ (De la tabla A-1)}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2.$$

Sustituyendo valores en la ecuación se obtiene:

$$h_{amp} = 0.01 \frac{2.63^2}{2 \times 9.81} = 0.004 \text{ m}; \text{ Se tomará el valor de } 0.01 \text{ m.}$$

$$h_{amp} = \mathbf{0.01 \text{ mca}}$$

e) Pérdidas por fricción en la tubería de 137.16 cm (54") de diámetro nominal ($h_{f\ 54''}$).

$$h_{f\ 54''} = K_s \frac{V_2^{1.9}}{D_2^{1.1}} \times \frac{L_{54''}}{1000}$$

Dónde:

$$K_s = 0.40 \text{ (Buried Steel Penstocks 1998)}$$

$$D_2 = 1.353 \text{ m} = 4.439 \text{ ft}$$

$$V_2 = \frac{3.50}{1.438} = 2.43 \text{ m/s} = 7.972 \text{ ft/s}$$

$$L_{54''} = 4.215 \text{ m} = 13.829 \text{ ft (calculada previamente)}$$

Sustituyendo los valores

$$h_{f\ 54} = 0.40 \times \frac{7.972^{1.9}}{4.439^{1.1}} \times \frac{13.829}{1000} = 0.055 \text{ ft} \times \frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} = 0.017 \text{ m}$$

$$h_{f\ 54''} = \mathbf{0.02 \text{ mca}}$$

f) Pérdidas locales en la válvula de emergencia de 137.16 cm (54") de diámetro nominal (h_{val-54}).

$$h_{val-54} = K_{val} \frac{V^2}{2g}$$

Dónde:

$$K_{val} = 0.8; \text{ valor de fabricante (Rodney Hunt), con una abertura del } 90\%.$$

$$V = V_2 = 2.43 \text{ m/s calculada en el inciso anterior.}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2.$$

Sustituyendo los valores para calcular $h_{val-54''}$, se tiene:

$$h_{val-54} = 0.8 \times \frac{2.43^2 \text{ m/s}}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.24 \text{ m}$$

$$h_{val-54} = 0.24 \text{ mca}$$

g) Perdidas locales en la bifurcación ($h_{bifurcación}$)

$$h_{bifurcacion} = K_{bifurcacion} \frac{V_2^2}{2g}$$

Dónde:

$$K_{bifurcación} = 1.0 \text{ (Buried Steel Penstock 1998)}$$

$V_2 = V_{min-ramal}$ = velocidad en la tubería de 54" de diámetro nominal, transitando el gasto de un ramal, en este caso el gasto es de 3.5 m³/s.

$$V_2 = V_{min-ramal} = 2.43 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2.$$

Sustituyendo los valores

$$h_{bifurcacion} = 1 \times \frac{(2.43)^2}{2 \times 9.81} = 0.301 \text{ m}$$

$$h_{bifurcacion} = 0.30 \text{ mca}$$

h) Perdidas local por reducción de diámetros en el codo (h_{rc}), de 137.16 cm (54") a 106.68 cm (42").

Se calcula con la siguiente expresión

$$h_{rc} = K_{rc} \frac{V_3^2}{2g}$$

Donde:

$$K_{rc} = 0.1 \text{ (Ingeniería hidráulica en México 1960)}$$

V_3 = velocidad en la salida, dentro de la tubería de 42" de diámetro nominal.

$$V_3 = \frac{Q}{A_3} = \frac{3.5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.862 \text{ m}^2} = 4.06 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Sustituyendo valores:

$$h_{rc} = 0.1 \times \frac{4.06^2}{2 \times 9.81} = 0.084 \text{ m}$$

$$h_{rc} = \mathbf{0.08 \text{ mca}}$$

i) Pérdidas locales en el codo (h_{codo}), por cambio de dirección

$$h_{rc} = \xi \frac{V_{med}^2}{2g}$$

Donde

$\xi = 0.072$ (se obtiene de la figura A-2).

$V_{med} = V_{med-ramal}$ = velocidad media en el cono en m/s. En este caso el gasto que transita es de $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

$V_{med} = 0.5 (V_2 + V_3)$; Ambos valores se calcularon previamente.

$$V_{med} = 0.5 (2.43 + 4.06) = 3.245 \text{ m/s} \approx 3.25 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2.$$

Sustituyendo los valores

$$h_{codo} = 0.072 \times \frac{(3.25)^2}{2 \times 9.81} = 0.039 \text{ m}$$

$$h_{codo} = \mathbf{0.04 \text{ mca}}$$

j) Pérdidas por fricción en la bifurcación compuesta ($h_{f-bifurcacion}$).

Las pérdidas por fricción en la bifurcación reductora se obtendrán con la fórmula de Scobey. Se evalúan las pérdidas por fricción considerando las longitudes de los tramos rectos de tubería de la bifurcación ($h_{f \text{ tr-bif}}$) y codos reductores ($h_{f-ramal}$), tal como se indica a continuación:

$$h_{f-bifurcacion} = h_{f \text{ tr-bif}} + h_{f-ramal}$$

- Pérdidas por fricción en el tramo recto con gasto de $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ($h_{f \text{ tr-bif}}$).

$$h_{f \text{ tr-bif}} = K_s \frac{V_2^{1.9}}{D_2^{1.1}} \times \frac{F}{1000}$$

Dónde:

$$K_s = 0.40$$

$V_2 = 7.972 \text{ ft/s}$ (se calculó previamente)

$D_2 = 4.439 \text{ ft}$ (se calculó previamente)

F = Longitud de tramo recto con diámetro nominal de 137.16 cm (54") comprendido entre el inicio del atraque de concreto y el punto central de la bifurcación, ver figuras 12 y 13.

$F = 0.9774 \text{ m} = 3.207 \text{ ft}$

Sustituyendo:

$$h_{f \text{ tr-bif}} = 0.40 \times \frac{7.972^{1.9}}{4.439^{1.1}} \times \frac{3.207}{1000} = 0.013 \text{ ft} \times 0.3048 \frac{\text{m}}{\text{ft}} = 0.004 \text{ m}$$

- Pérdidas generadas en el ramal con el gasto de $2.50 \text{ m}^3/\text{s}$ ($h_{f\text{-ramal}}$).

$$h_{f\text{-ramal}} = K_s \frac{V_{med}^{1.9}}{D_{med}^{1.1}} \times \frac{L_{ramal}}{1000}$$

Dónde:

$K_s = 0.40$

$V_{med} = 3.25 \text{ m/s} = 10.663 \text{ ft/s}$ (se calculó previamente)

$D_{med} = 0.5(D_2 + D_3) = 0.5(1.353 + 1.048) = 1.20 \text{ m} = 3.937 \text{ ft}$

L_{ramal} = longitud del ramal en ft. Se considera desde el punto central de la bifurcación hasta el término del atraque de concreto, ver figuras 12 y 13.

$L_{ramal} = H_y + L_{arco} + J$;

H_y y J se calcularon en el diseño geométrico.

$$L_{arco} = \left(\frac{37.5}{360}\right) \times 2\pi \times 4.2 \text{ m} = 2.749 \text{ m}$$

$L_{ramal} = 1.12 + 2.749 + 0.5772 = 4.4462 \text{ m} = 14.587 \text{ ft}$

Sustituyendo los valores

$$h_{f\text{-ramal}} = 0.40 \frac{10.663^{1.9}}{3.937^{1.1}} \times \frac{14.587}{1000} = 0.116 \text{ ft} \times 0.3048 \frac{\text{m}}{\text{ft}} = 0.035 \text{ m}$$

Con los valores obtenidos se calcula la pérdida por fricción en la bifurcación reductora ($h_{f\text{-bifurcacion}}$)

$$h_{f-bifurcacion} = h_{f\ tr-bif} + h_{f-ramal} = 0.004 + 0.035 = 0.039\ m$$

$$h_{f-bifurcacion} = \mathbf{0.04\ mca}$$

- k) Perdidas por fricción en los tramos de tubería de 106.68 cm (42") de diámetro nominal.

De la fórmula de Scobey tenemos que:

$$h_{f\ 42"} = K_s \frac{V_3^{1.9}}{D_3^{1.1}} \times \frac{L_{42"}}{1000}$$

Dónde:

$$K_s = 0.40$$

$$V_3 = 4.06\ m/s = 13.32\ ft/s$$

$$D_3 = 1.048\ m = 3.438\ ft$$

$$L_{42"} = 7.30\ m = 23.95\ ft$$

Sustituyendo:

$$h_{f\ 42"} = 0.40 \times \frac{13.32^{1.9}}{3.438^{1.1}} \times \frac{23.95}{1000} = 0.337\ ft \times 0.3048 \frac{m}{ft} = 0.103\ m$$

$$h_{f\ 42"} = \mathbf{0.10\ mca}$$

- l) Perdidas locales en la válvula de mantenimiento de 106.68 cm (42") de diámetro nominal (h_{val-42}).

La pérdida localizada en una válvula se calcula con la siguiente expresión:

$$h_{val-42} = K_{val} \frac{V_3^2}{2g}$$

Dónde:

$$K_{val} = 0.8\ (\text{tomado de fabricante Rodney Hunt, 90\% de abertura})$$

$$V_3 = 4.06\ m/s$$

$$g = 9.81\ m/s^2$$

Sustituyendo los valores para calcular h_{val-42} , se tiene:

$$h_{val-42} = 0.8 \times \frac{4.06^2 \text{ m/s}}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.672 \text{ m}$$

$$h_{val-42} = 0.67 \text{ mca}$$

m) Pérdidas de carga en la descarga de la válvula de servicio tipo chorro divergente (h_{val-cd}).

La pérdida generada en la válvula de chorro divergente se obtiene con la fórmula que relaciona el gasto, carga y coeficiente de descarga con una abertura total, se indica a continuación:

$$Q = C_d A \sqrt{2gH}$$

Donde:

Q = gasto descargado por la válvula en $\text{m}^3/\text{s} = 3.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

C_d = coeficiente de descarga de la válvula con abertura total = 0.85 (obtenido de fabricante Rodney Hunt).

A = área calculada con el diámetro nominal de la válvula en m^2 .

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

H = (h_{val-ch}) carga neta en m (inmediatamente aguas arriba de la válvula).

Se despeja la carga neta (H) y se obtiene la pérdida localizada en la válvula de chorro divergente (h_{val-ch}).

$$H = \left(\frac{Q}{C_d A} \right)^2 \frac{1}{2g} = \left(\frac{3.50}{0.85 \times \left(\frac{\pi \times 1.0668^2}{4} \right)} \right)^2 \frac{1}{2 \times 9.81} = 1.082 \text{ m}$$

$$h_{val-cd} = 1.08 \text{ mca}$$

La pérdida de velocidad en la salida de la obra de toma ya no será considerada ya que está implícita en el cálculo de la pérdida en la descarga de la válvula de chorro divergente.

De acuerdo a lo anterior, a continuación se realiza la suma de pérdidas de carga obtenidas en los incisos y se obtiene Z_i :

Inciso	Perdida	Valor [m]
a)	$h_{rejillas}$	0.01
b)	$h_{entrada}$	0.03
c)	$h_f 52''$	0.18
d)	$h_{amp-tub}$	0.01
e)	$h_f 54''$	0.02
f)	$h_{val-54''}$	0.24
g)	$h_{bifurcación}$	0.30
h)	h_{rc}	0.08
i)	h_{codo}	0.04
j)	$h_f-bifurcacion$	0.04
k)	$h_f 42''$	0.10
l)	$h_{val-42''}$	0.67
m)	h_{val-cd}	1.08
TOTAL =		$Z_i =$
		2.80 m

Se tiene que:

$$Z_i = \text{Elev. NAMINO} - 1593.66 \text{ msnm}$$

Por lo tanto:

$$\text{Elevación del NAMINO} = 2.80 + 1593.66 = 1596.46 \text{ msnm}$$

SELECCIÓN DE DIÁMETROS CUANDO EXISTEN PENDIENTES PRONUNCIADAS

La válvula de *Admisión y Expulsión de Aire* se deberá elegir de un diámetro mínimo capaz de admitir y expulsar el aire de un sistema a través de su orificio de venteo, sin exceder de una presión diferencial permisible.

A) Para seleccionar al diámetro mínimo capaz de expulsar aire, aplíquese la fórmula siguiente para convertir el gasto a pies cúbicos de aire por segundo:

$$PCAS = Q/28.32$$

DONDE:

PCAS = Pies Cúbicos de Aire por segundo

Q = Gasto en Litros por Segundo

Con el resultado, en la gráfica, se deberá elegir el diámetro de la válvula sin exceder de una presión diferencial de 2 lb/pulg.²

B) El diámetro mínimo capaz de admitir aire, está dado por el diámetro de la tubería y la pendiente en metros de altura entre los metros de longitud. Se pueden tener dos pendientes diferentes, por lo que deberá considerarse la pendiente más severa:

$$PCAS = 0.08665 \sqrt{P D^5}$$

DONDE:

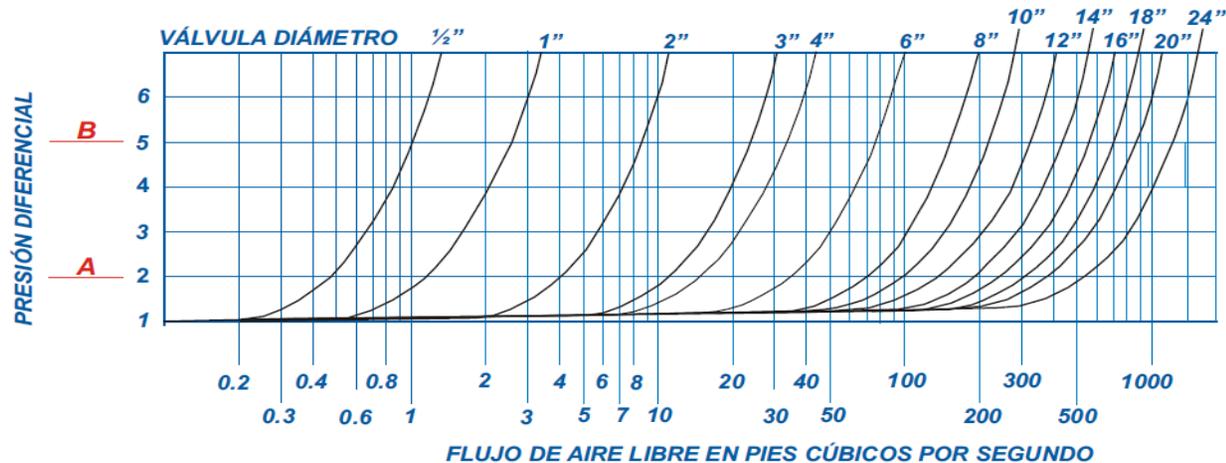
PCAS = Pies Cúbicos de Aire por Segundo

P = Pendiente (metros de altura entre metros de Longitud)

D = Diámetro de la tubería en pulgadas.

Con el resultado, en la gráfica, se deberá elegir el diámetro de la válvula sin exceder de una presión diferencial de 5 lb/pulg.²

Comparando los procedimientos A y B se decidirá por la de mayor diámetro, si es que los resultados fueran de diámetros diferentes.



Vamex-jrpp

Figura A-3. Hoja de selección de válvulas de admisión y expulsión de aire.

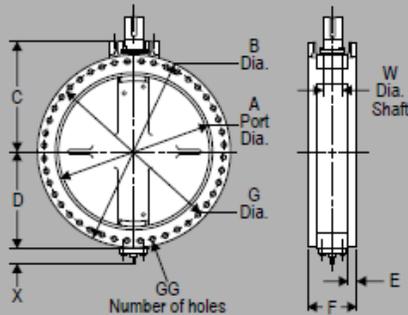
Fuente: Catálogo de fabricante VAMEX, S. A. DE C. V.

Cast Streamseal™ Butterfly Valve



Continued...

Standard Dimensions



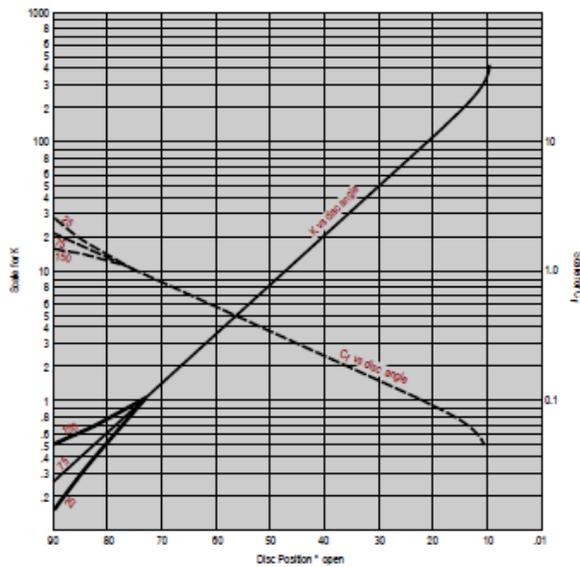
Size	A	B	C	D	E	F	G	GG	W*	X
24	22.88	32.00	21.75	16.25	1.88	8.00	29.50	20	3.00	6.88
30	29.00	38.75	24.75	19.62	2.12	12.00	36.00	28	3.62	6.88
36	34.94	46.00	27.88	23.25	2.38	12.00	42.75	32	4.50	6.88
42	40.88	53.00	30.88	26.75	2.62	12.00	49.50	36	5.00	6.88
48	46.88	59.50	34.25	29.88	2.75	15.00	56.00	44	5.75	6.88
54	52.88	66.25	37.75	33.38	3.00	15.00	62.75	44	6.75	7.31
60	58.88	73.00	40.88	36.75	3.12	15.00	69.25	52	7.50	7.56
66	64.88	80.00	44.50	40.50	3.38	18.00	76.00	52	7.75	7.56
72	70.88	86.50	47.62	43.62	3.50	18.00	82.50	60	8.50	6.02
78	76.88	93.25	50.25	47.00	3.75	21.00	89.00	64	9.25	6.02
84	82.88	99.75	60.00	55.00	3.88	21.00	95.50	64	10.00	6.02
90	88.88	106.50	55.88	53.50	4.06	22.50	102.00	68	10.75	6.02
96	94.00	113.25	60.00	57.25	4.25	24.00	108.50	68	11.50	6.02

*Shaft dimensions for 150B rating.

Dimensions in inches.

Valve may be installed with shaft in either the horizontal or vertical position.

Streamseal Butterfly Valve with Domed Disc – Head Loss and Flow Coefficients



K and C_f versus disc position

$$H_L = \frac{KV^2}{2g} = \frac{V^2}{2gC_f^2}$$

H_L = head loss across valve in feet of water

K = head loss coefficient

C_f = flow coefficient

V = fluid velocity in pipe in feet per second

g = gravitational constant (32.2) feet per sec.²

NOTE: Actual performance of the valve will be affected by the parameters of the complete system.

Figure 2

Materials

- Body MaterialASTMA126, Class B Cast Iron
 - Disc MaterialASTMA536, Grade 65-45-12 Ductile Iron
 - ShaftASTMA276, Type 304 Stainless Steel
 - Seat MaterialBuna-N
 - Shaft SealsConventional packing with bronze gland
 - Mating Seat Surface.....ASTMA276, Type 304 Stainless Steel
 - Shaft BearingsCorrosion resistant, self-lubricated sleeve type
 - CoatingHigh solids, high build epoxy
- other materials available upon request to meet system requirements.**

End Configurations

Flanged (ANSI-B16.1 Class 125), mechanical joint (AWWA C110), grooved, plain, metric flanges, higher pressure rated flanges.

Sizes

24", 30", 36", 42", 48", 54", 60", 66", 72", 78", 84", 90", 96", 108", 120". (metric sizes also available).

Pressure Classes

25, 75, 150, 250 psi

Testing

AWWA C504 (latest edition)

Figura A-4. Hoja de dimensiones de válvulas de mariposa.

Fuente: Catálogo de fabricante RODNEY HUNT.

CÁLCULO DE LA CELERIDAD EQUIVALENTE

Para calcular la celeridad equivalente la obra de toma se dividió en seis secciones, tomando como base el diámetro la tubería y si esta embebida de concreto, ver Figura A-5.

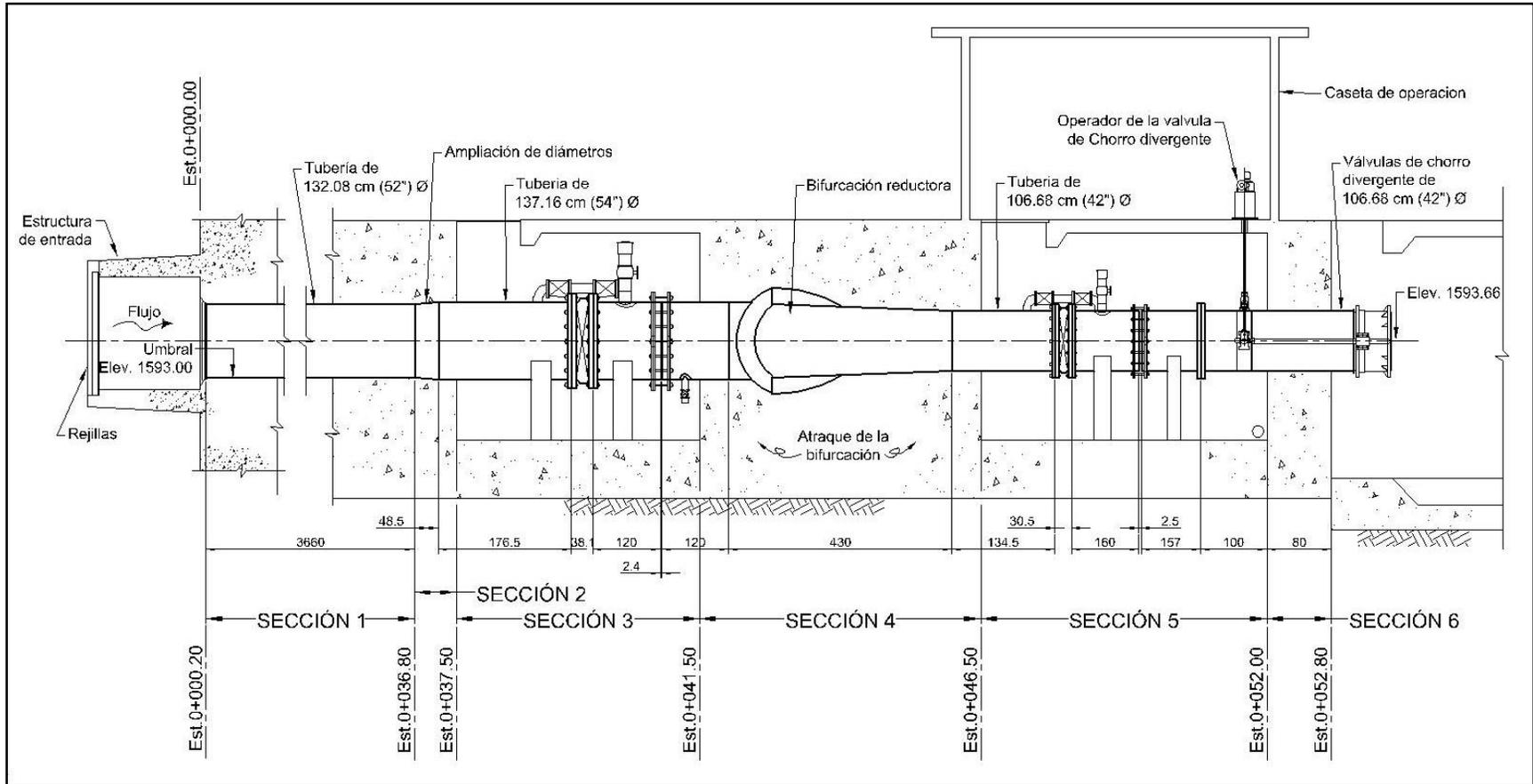


Figura A-5. Vista de planta de la Obra de Toma, acotaciones en cm, estaciones y elevaciones en m.

En el cuadro A-1 se indican las estaciones y características principales de cada sección.

CUADRO A-1. DIVISIÓN DE LA TUBERÍA DE LA OBRA DE TOMA EN SECCIONES		
Sección	Estaciones	Características principales
Sección 1	De la 0+000.20 a la 0+036.80	Diámetro nominal = $D_1 = 132.08$ cm (52") Tubería embebida en concreto
Sección 2	De la 0+036.80 a la 0+037.50	Diámetro nominal = $D_2 = 137.16$ cm (54") Tubería embebida en concreto. Esta sección incluye la ampliación de diámetros.
Sección 3	De la 0+037.50 a la 0+041.50	Diámetro nominal = $D_2 = 137.16$ cm (54") Tramos de tubería fuera del concreto, bridados a la válvula de emergencia de 54" de diámetro con apoyos contiguos a la válvula
Sección 4	De la 0+041.50 a la 0+046.50	Diámetro variable de 137.16 cm (54") a 106.68 cm (42"). Tramos de tubería que conforman la bifurcación compuesta. Tuberías embebidas en concreto.
Sección 5	De la 0+046.50 a la 0+052.00	Diámetro nominal = $D_3 = 106.68$ cm (42") Tramos de tubería fuera del concreto, bridados a la válvula de mantenimiento y de servicio de 42" de diámetro, con apoyos.
Sección 6	De la 0+052.00 a la 0+052.80	Diámetro nominal = $D_3 = 106.68$ cm (42") Tubería embebida en concreto y válvula de servicio.

Para los tramos de tubería de acero embebida en concreto, se obtiene un módulo de elasticidad del material compuesto ($E_{\text{compuesto}}$), considerando espesor (t) de 0.95 cm para la tubería de acero y 500 cm el revestimiento de concreto. De este modo tenemos que:

$$E_{\text{compuesto}} = \frac{(t E)_{\text{acero}} + (t E)_{\text{concreto}}}{t_{\text{acero}} t_{\text{concreto}}} \text{ [cm, Pa]}$$

Donde

$$E_{\text{acero}} = \text{módulo de elasticidad del acero} = 206.85 \text{ GPa}$$

$$t_{\text{acero}} = \text{espesor del acero} = 0.95 \text{ cm}$$

$$E_{\text{concreto}} = \text{módulo de elasticidad del concreto} = 30.0 \text{ GPa}$$

$$t_{\text{concreto}} = \text{espesor del concreto} = 500 \text{ cm}$$

Sustituyendo los datos, obtenemos el valor de $E_{\text{compuesto}}$:

$$E_{\text{compuesto}} = \frac{(0.95 \times 206.85) + (500 \times 30)}{0.95 \times 500} = 31.993 \text{ GPa}$$

En el cuadro A-2 se muestran los datos y utilizando la fórmula indicada se obtienen los resultados de las celeridades y longitudes correspondientes a cada una de las secciones.

CUADRO A-2. CELERIDADES Y LONGITUDES DE SECCIONES				
Secciones y ubicación (estaciones del eje de la toma)	Condiciones de la sección	Datos de la sección	Resultado del Cálculo $a = \frac{0.319}{\sqrt{\frac{W}{g} \left(\frac{1}{k} + \frac{d}{Et} \right)}}$	Longitud del tramo
Sección 1 Estaciones de la 0+000.20 a la 0+036.80	Tubo de acero embebido en concreto.	W=1000 Kg/m ³ g=9.81m/s ² k=2.07 x 10 ⁹ Pa d _{1-int} =1302 mm E _{compuesto} = 31.993 x 10 ⁹ Pa t=509.5 mm	a ₁ =1331.6 m/s	L ₁ = 36.60 m
Sección 2 Estaciones de la 0+036.80 a la 0+037.50	Tubo de acero embebido en concreto.	W=1000 Kg/m ³ g=9.81m/s ² k=2.07 x 10 ⁹ Pa d _{2-int} =1353 mm E _{compuesto} = 31.993 x 10 ⁹ Pa t=509.5 mm	a ₂ =1328.0 m/s	L ₂ = 0.70 m
Sección 3 Estaciones de la 0+037.50 a la 0+041.50	Tubo de acero fuera del concreto	W=1000 Kg/m ³ g=9.81m/s ² k=2.07 x 10 ⁹ Pa d _{2-int} =1353 mm E _{acero} = 206.85 x 10 ⁹ Pa t=9.5 mm	a ₃ =923.1 m/s	L ₃ = 4.00 m
Sección 4 Estaciones de la 0+041.50 a la 0+046.50	Tubería de bifurcación, acero embebido en concreto.	W=1000 Kg/m ³ g=9.81m/s ² k=2.07 x 10 ⁹ Pa d _{med} =1217 mm E _{compuesto} = 31.993 x 10 ⁹ Pa t=509.5 mm	a ₄ =1337.8 m/s	L ₄ = 5.423 m (se incluye longitud del codo ver figura 13)
Sección 5 Estaciones de la 0+046.50 a la 0+052.00	Tubo de acero fuera del concreto	W=1000 Kg/m ³ g=9.81m/s ² k=2.07 x 10 ⁹ Pa d _{3-int} =1048 mm E _{acero} = 206.85 x 10 ⁹ Pa t=9.5 mm	a ₃ =991.0 m/s	L ₅ = 5.50 m
Sección 6 Estaciones de la 0+052.00 a la 0+052.80	Tubo de acero embebido en concreto	W=1000 Kg/m ³ g=9.81m/s ² k=2.07 x 10 ⁹ Pa d _{3-int} =1048 mm E _{compuesto} = 31.993 x 10 ⁹ Pa t=509.5 mm	a ₃ =1350.4 m/s	L ₆ = 0.80 m
			Long. total (L_{tot}) =	53.023 m

La celeridad equivalente (a_{eq}) se obtiene a continuación

Si:

$$\frac{L_{tot}}{a_{eq}} = \frac{L_1}{a_1} + \frac{L_2}{a_2} + \frac{L_3}{a_3} \dots \frac{L_n}{a_n} \quad [m, m/s]$$

Despejando a_{eq}

$$a_{eq} = \frac{L_{tot}}{\frac{L_1}{a_1} + \frac{L_2}{a_2} + \frac{L_3}{a_3} \dots \frac{L_n}{a_n}}$$

Sustituyendo los datos obtenidos en la ecuación, se tiene que:

$$a_{eq} = \frac{53.023}{\frac{36.6}{1331.6} + \frac{0.7}{1328} + \frac{4.0}{923.1} + \frac{5.423}{1337.8} + \frac{5.50}{991} + \frac{0.80}{1350.4}} = 1246.4 \text{ m/s}$$

$$a_{eq} = 1246.4 \text{ m/s}$$

CÁLCULO DEL TIEMPO CRÍTICO

Con el valor obtenido de la celeridad equivalente se calcula el tiempo crítico (T_c).

$$T_c = \frac{2L}{a_{eq}}$$

Dónde:

$$L = 53.023 \text{ m}$$

$$a = 1246.4 \text{ m/s}$$

Sustituyendo:

$$T_c = \frac{2 \times 53.023}{1246.4} = 0.09 \text{ s}$$

$$T_c = 0.1 \text{ s}$$

FORMULAS PARA CODOS REDUCTORES

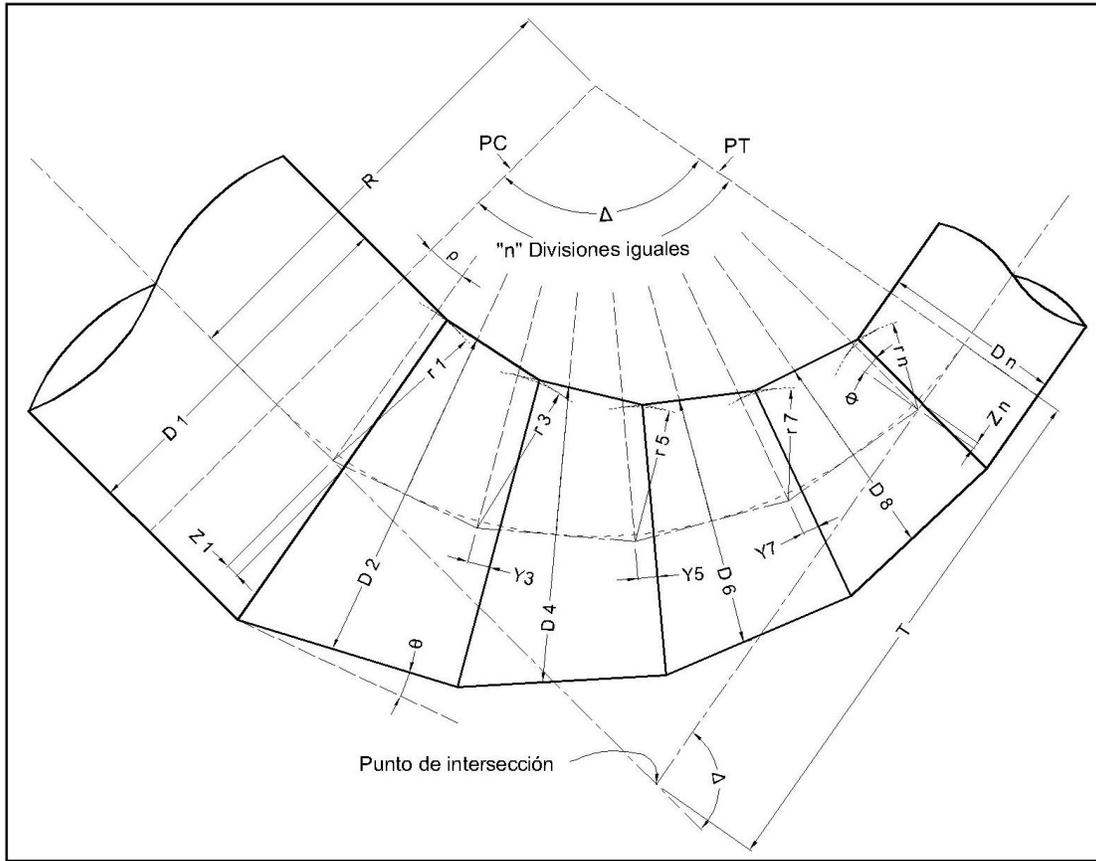


Figura A-6. Dimensiones para fabricación del codo reductor en gajos.

Δ = Ángulo de intersección

R = Radio del codo

$n = 2$ (numero de deflexiones)

D_1 = Diámetro interior de la tubería mayor

D_n = Diámetro interior de la tubería menor

$\rho = \Delta/n$

θ = ángulo de reducción de conos

$$\text{sen}\theta = \frac{D_1 - D_n}{2(n-2)R(\tan\rho)}$$

$$r_1 = D_1/2$$

$$r_n = D_n/2$$

$$r_1 = r_n - (x - 1)R(\tan\rho)(\text{sen}\theta)$$

$$D_x = \frac{D_1 - 2(x-1)R(\tan\rho)(\text{sen}\theta)}{\cos\theta}$$

Donde x = numero de divisiones considerado

$$\tan\Phi = \frac{\text{sen } 2\rho}{\cos 2\rho + \cos\theta}$$

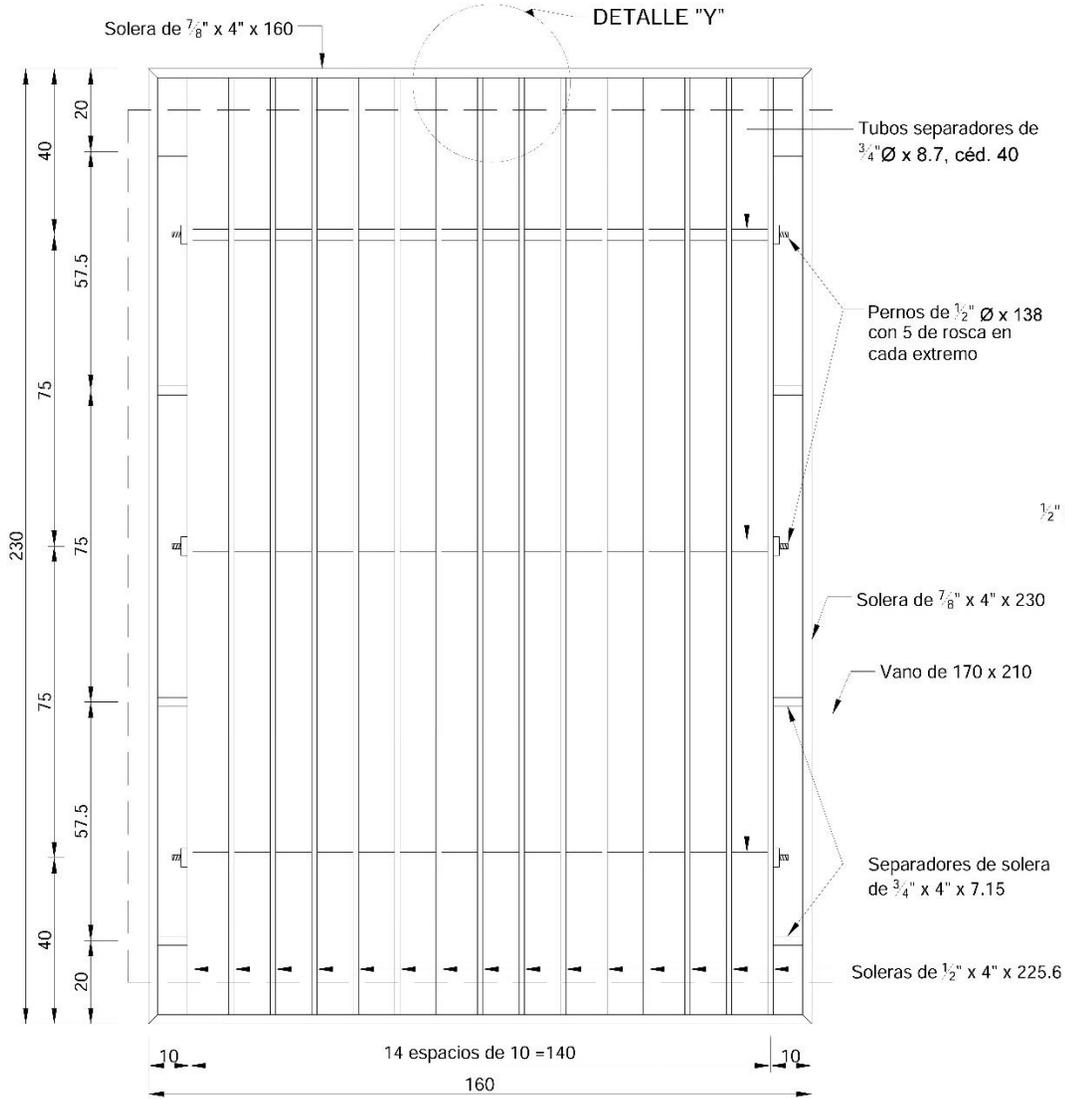
$$Z_1 = \frac{r_1(\text{sen}\theta)}{\cos 2\rho + \cos\theta}$$

$$Z_1 = \frac{r_n(\text{sen}\theta)}{\cos 2\rho + \cos\theta}$$

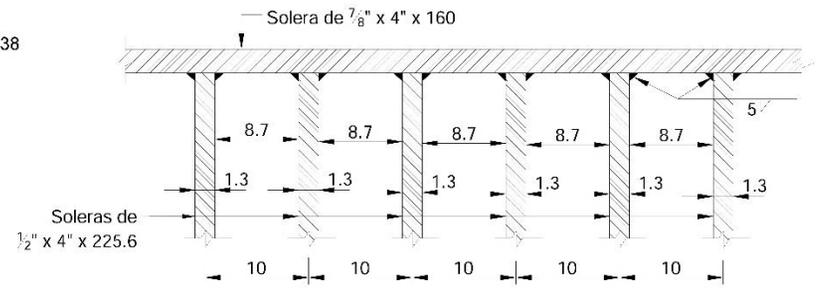
$$Y_x = \frac{r_x(\text{sen}\theta)}{\cos\rho}$$

$$T = R \tan \Delta/2$$

PLANOS



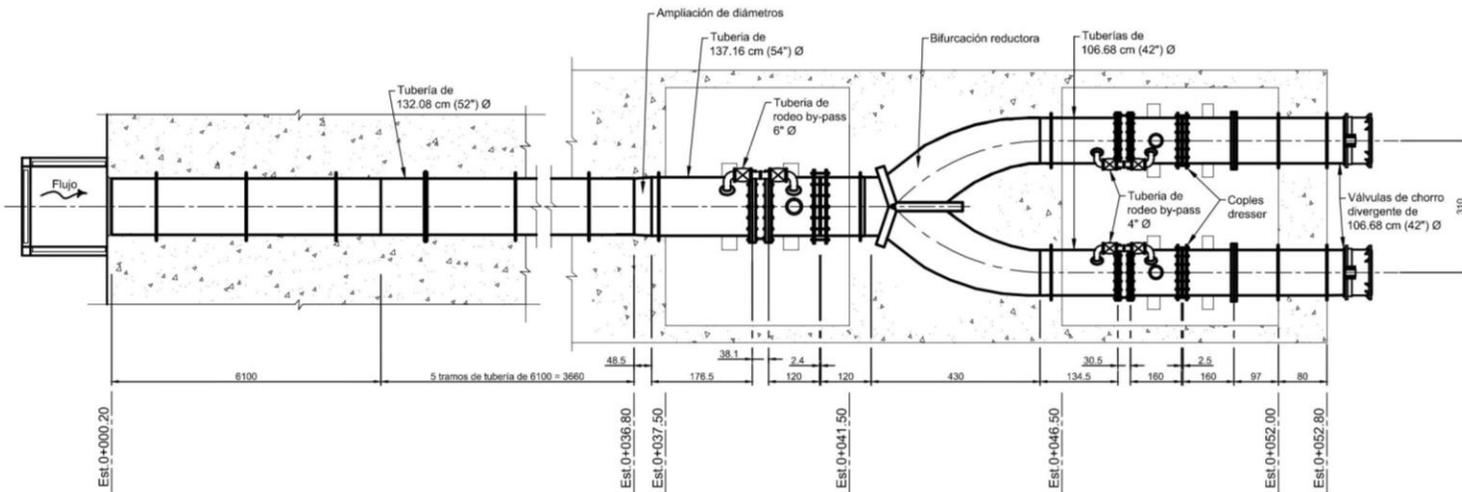
REJILLA
(Se requiere tres unidades)



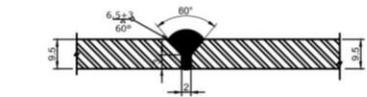
DETALLE "Y"

NOTAS:
 Acotaciones en Kilometros excepto las indicadas en otra unidad.-
 Estaciones en Kilometros y elevaciones en metros.- Todos los
 perfiles estructurales serán de acero ASTM A 36.- Las soldaduras
 y sus símbolos se indican en mm, se harán con electrodos de la
 serie A-233, clase E-60 de acuerdo con las especificaciones de la
 AWS.- Se aplicará protección anticorrosiva de acuerdo a las
 Especificaciones Técnicas del equipo.

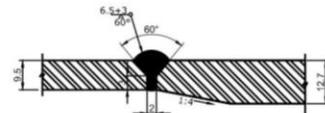
REJILLAS DE LA ESTRUCTURA DE ENTRADA		
CANTIDAD	VALOR	TOTAL
Sin escalar		



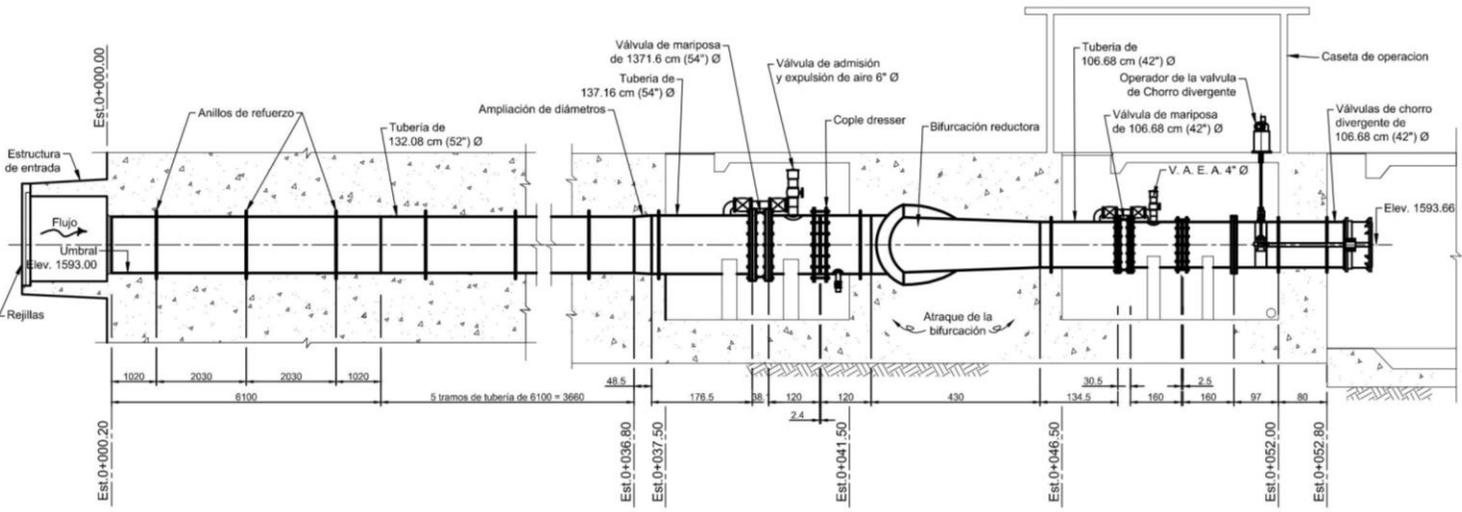
VISTA DE PLANTA



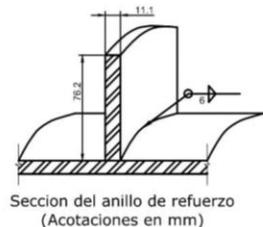
Detalle de unión de placa de tubería de 9.5 mm de espesor (Acotaciones en mm)



Detalle unión de placas de tubería con diferentes espesores, de 9.5mm y de 12.7mm (Acotaciones en mm)



CORTE POR EL EJE DE LA OBRA DE TOMA



Seccion del anillo de refuerzo (Acotaciones en mm)

NOTAS:
 Acotaciones en centímetros excepto las indicadas en otra unidad.-
 Estaciones en Kilometros y elevaciones en metros.- Las soldaduras y sus símbolos están de acuerdo con las AWS.- La protección anticorrosiva se hará de acuerdo a las Especificaciones Técnicas del equipo. Este plano se complementa con las especificaciones técnicas y viceversa, por lo que el contratista deberá tenerlo en cuenta al llevar a cabo la construcción de este proyecto. El dimensionamiento del diametro de la tubería ha sido establecido de acuerdo a analisis hecho conjuntamente con el proyecto de obra civil.

PLANO GENERAL MECANICO - OBRA DE TOMA		
ESCALA	PROYECTO	PLANO
Sin escala		

